

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA NA CULTURA DO
MILHO

ELISANDRO PIRES FRIGO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU – SP

Outubro – 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA NA CULTURA DO
MILHO

ELISANDRO PIRES FRIGO

Orientador: Prof. Dr. Antônio Evaldo Klar
Co-orientador: Prof. Dr. Sílvio César Sampaio

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU – SP
Outubro – 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

F912u Frigo, Elisandro Pires, 1977-
Uso de água residuária de suinocultura na cultura do milho / Elisandro Pires Frigo. - Botucatu : [s.n.], 2008. xv, 83 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008

Orientador: Antônio Evaldo Klar

Co-Orientador: Sílvio César Sampaio

Inclui bibliografia.

1. Suíno - Criação. 2. Irrigação por aspersores. 3. Meio ambiente. 4. Água - Reutilização. 5. Fertirrigação. I. Klar, Antônio Evaldo. II. Sampaio, Sílvio César. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

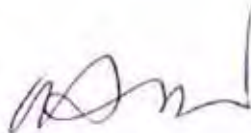
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA NA CULTURA DO MILHO.

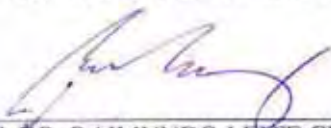
ALUNO: ELISANDRO PIRES FRIGO

ORIENTADOR: PROF. DR. ANTONIO EVALDO KLAR
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. SILVIO CÉSAR SAMPAIO

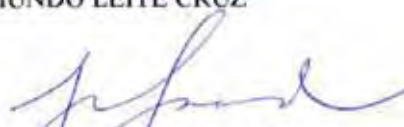
Aprovado pela Comissão Examinadora



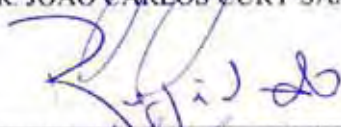
PROF. DR. ANTONIO EVALDO KLAR



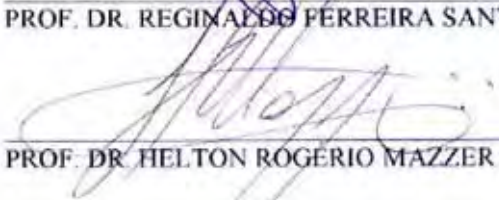
PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ



PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



PROF. DR. REGINALDO FERREIRA SANTOS



PROF. DR. HELTON ROGÉRIO MAZZER

Data da Realização: 17 de outubro de 2008.

Oferecimento

**“Á minha família:
na figura da minha esposa Michelle, meus pais,
minha avó,
irmãs e irmão
e sobrinha Lara.”**

Dedicatória

“Este trabalho é dedicado à Deus mesmo que às vezes busco a Ele sem acreditar e com certeza existindo na forma que for deve ser o Deus dos valentes, a todos que participaram direta e indiretamente da minha caminhada até este momento, e foram muitos, também aos que não acreditaram em mim, a estes tenham a certeza de que sempre se é capaz, enfim, a todos meu muito obrigado”

Agradecimentos

“A Deus, que me ajudou a superar todos os momentos difíceis até este ponto da minha vida e que ilumina meus caminhos a cada amanhecer e principalmente pela segunda chance na vida, não é a todos que é ofertada, obrigado!

Minha esposa Michelle, por me amar e acreditar no meu potencial e principalmente por me “aturar” todo este tempo em que estamos juntos, nos momentos difíceis os quais passamos juntos principalmente no início de 2008 e também pelos momentos felizes.

Meus pais, Carlos e Terezinha, por me darem à vida, e, sobretudo, todos os valores que me foram passados, sempre acreditaram em mim e por todo o esforço que fizeram para que eu chegasse até este ponto da minha vida.

Minha avó Donata minha segunda mãe, sempre me defendendo independente de estar certo ou errado a senhora meu muito obrigado de todo o coração.

Minhas irmãs de sangue, Juliana e Jianice, e aos dos laços de amizade, pelos momentos alegres e tristes vividos juntos, sempre me apoiando e consolando,

Meu irmão Jian Frigo por tudo que fez por mim nos momentos tristes e alegres,

Meu orientador, Prof. Dr. Antonio Evaldo klar, um verdadeiro mestre no real sentido da palavra, um segundo pai, ao senhor obrigado por tudo e todo meu agradecimento,

Meu co-orientador Prof. Dr. Silvio César Sampaio, que me acompanhou até este momento, dedicando grande atenção e amizade a cada dificuldade encontrada, desde o mestrado,

Ao curso de pós-graduação, na figura dos Prof. Dr. João Saad e Raimundo Leite Cruz, por apostarem em mim e em meu trabalho,

Meus amigos e irmãos os quais este trabalho com certeza não sairia do papel, Jian Frigo, Nelson, Denis, Leocir, Edevan, Jonathan, Lisdeferson “Guarapa” por todas as dificuldades passadas, superadas sempre com bom humor,

A banca pelo conhecimento transmitido na correção desta Tese,

A CAPES, pelo suporte financeiro e,

A todos os funcionários da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, em especial aos da seção de pós-graduação, secretaria do curso, Engenharia Rural,

A UNIOESTE –Campus de Cascavel, por todo o suporte institucional necessário à realização deste estudo, suporte este desde o tempo de Mestrado, aos funcionários que nunca

mediram esforços para a realização deste trabalho, aos professores e alunos que mesmo sem participar diretamente sempre deram sua contribuição..

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	15
SUMMARY.....	17
1. INTRODUÇÃO.....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1. A cultura do milho.....	21
2.1.1. Importância na região oeste do Paraná.....	21
2.1.2. Relação entre o clima e a cultura.....	22
2.2. Irrigação: tecnologia para aumento de produtividade agrícola.....	23
2.2.1. Irrigação por aspersão.....	23
2.2.2. Uniformidade de distribuição de água.....	24
2.2.2.1. Ação do vento	25
2.3. Reuso de água.....	26
2.3.1. Utilização de águas residuárias na agricultura.....	28
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1. Local.....	35
3.2. Croqui da área experimental.....	38
3.3. Preparo do solo.....	39
3.4. Adubação.....	39
3.5. Cultura.....	40
3.6. Tratos culturais.....	40
3.7. Sistema de irrigação por aspersão	41
3.8. Características do aspersor Eco A232 capacete branco.....	42
3.9. Coletores utilizados.....	43
3.10. Lâmina de irrigação.....	44
3.11. ARS e água.....	44
3.12. Delineamento experimental.....	47
3.13. Determinação do CUC.....	48
3.14. Cálculo da pressão na saída dos aspersores.....	50
3.15. Análise de crescimento.....	51

3.16. Estatura de planta.....	51
3.17. Massa fresca.....	52
3.18. Massa seca.....	52
3.19. Área foliar.....	52
3.20. Análise foliar.....	52
3.21. Produtividade.....	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1. Resultados para a pressão de serviço de 250 KPa.....	54
4.1.1. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).....	54
4.1.2. Influência do vento na coleta dos dados.....	56
4.1.3. Influência da pressão na uniformidade de distribuição de água.....	60
4.2. Resultados para a pressão de serviço de 300 KPa.....	61
4.2.1. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).....	61
4.2.2. Influência do vento na coleta dos dados.....	63
4.2.3. Influência da pressão na uniformidade de distribuição de água.....	66
4.3. Estatura de plantas.....	67
4.4. Massa fresca.....	68
4.5. Massa seca.....	70
4.6. Área foliar.....	71
4.7. Análise foliar.....	72
4.8. Produtividade.....	74
5. CONCLUSÕES.....	76
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Tipos de reuso de água.....	27
Tabela 2: Aumento da produtividade agrícola ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) possibilitada pela irrigação com águas residuárias.....	33
Tabela 3: Resultados da análise de solo da área experimental irrigada com água residuária.....	36
Tabela 4: Resultado da análise de solo da área experimental irrigada com água.....	37
Tabela 5: Resultado da análise de solo da área experimental de sequeiro.....	38
Tabela 6: Análise físico-química da ARS.....	46
Tabela 7: Análise físico-química da ARS.....	47
Tabela 8: Valores de CUC encontrados para as parcelas P1, P2 e P3, e suas respectivas repetições para a pressão de serviço de 250 kPa.....	55
Tabela 9: Valores de CUC encontrados para Parcela P1, P2 e P3, e suas respectivas repetições para a pressão de serviço de 300 kPa.....	62
Tabela 10: Valores médios para teores de NPK na folha após os 45 dias da emergência (DAE) de milho.....	72
Tabela 11: Valores de precipitação acumulada a cada 15 dias período de 29 de fevereiro a 31 de maio.....	74

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Croqui de um bloco experimental com a localização das parcelas onde foi implantada a cultura com suas respectivas repetições.....	39
Figura 2: Sistema de irrigação (cabeçal de controle).....	41
Figura 3: Área experimental.....	42
Figura 4: Aspersor Eco A232 Capacete Branco.....	42
Figura 5: Características técnicas do Aspersor Eco A232 Capacete Branco.....	43
Figura 6: Kit de ensaio de precipitação, marca comercial Fabrimar®.....	44
Figura 7: Propriedade fornecedora da ARS.....	45
Figura 8: Reservatórios de ARS e conjunto motobomba utilizado.....	45
Figura 9: Manômetro utilizado.....	46
Figura 10: Malha de coletores.....	49
Figura 11: Croqui representativo da distribuição dos pontos avaliados.....	51
Figura 12: Coeficientes médios de uniformidades para as parcelas P1, P2 e P3, pressão de 250 KPa.....	56
Figura 13: Influência do vento e declividade do terreno na coleta dos dados.....	57
Figura 14: Influência do vento na uniformidade de distribuição.....	57
Figura 15: Lâmina média coletada em função do espaçamento entre aspersores e influência do vento para a parcela P1.....	58
Figura 16: Lâmina média coletada em função do espaçamento entre aspersores e influência do vento para a parcela P2.....	59
Figura 17: Lâmina média coletada em função do espaçamento entre aspersores e influência do vento para a parcela P3.....	59
Figura 18: Redução da pressão ao longo das linhas principais e laterais para 250 kPa.....	60
Figura 19: Valores médios de CUC em função da pressão média dos aspersores correspondentes às parcelas avaliadas para 250 kPa.....	61
Figura 20: Coeficientes médios de uniformidades para as parcelas P1, P2 e P3, pressão de 300 kPa.....	63

Figura 21: Lâmina média coletada em função do espaçamento entre aspersores e influência do vento para a parcela P1.....	64
Figura 22: Lâmina média coletada em função do espaçamento entre aspersores e influência do vento para a parcela P2.....	65
Figura 23: Lâmina média coletada em função do espaçamento entre aspersores e influência do vento para a parcela P3.....	65
Figura 24: Redução da pressão ao longo das linhas principais e laterais para 300kPa.....	66
Figura 25: Valores médios de CUC em função da pressão média dos aspersores correspondentes às parcelas avaliadas.....	67
Figura 26: Estatura de plantas (cm) para os tratamentos.....	68
Figura 27: Massa fresca ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) para os tratamentos.....	69
Figura 28: Massa seca ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.) para os tratamentos.....	70
Figura 29: Área foliar (cm^2) para os tratamentos.....	72
Figura 30: Relação entre o pH e a disponibilidade dos nutrientes no solo.....	73
Figura 31: Produtividade ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) para os tratamentos.....	74

LISTA DE EQUAÇÕES

	Página
Equação 1: Coeficiente de uniformidade de Christiansen.....	48
Equação 2: Equação de Bernoulli.....	50
Equação 3: Equação de Bernoulli.....	50

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%	percentual
ARS	água residuária da suinocultura
Ca	cálcio
cm	centímetro
cm ²	centímetro quadrado
COODETEC	Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola
Cu	cobre
CUC	coeficiente de uniformidade de Christiansen
DAE	dias após a emergência
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fe	ferro
g	grama
ha	hectare
IAPAR	Instituto Agronômico do Paraná
K	potássio
kg	quilograma
kPa	quilo Pascal
L	litro
m ³	metro cúbico
mca	metro de coluna d' água
Mg	magnésio
mg	miligrama
MG	Minas Gerais
min	minuto
ml	mililitro
mm	milímetro
N	nitrogênio
Na	sódio

NEEA	Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola
n°	número
NPK	Nitrogênio – Fósforo – Potássio
°C	graus Celsius
P	fósforo
P1	parcela 1
P2	parcela 2
P3	parcela 3
pH	potencial hidrogênionico
PVC	policloreto de vinila
SEAB	Secretaria da Agricultura e do Abastecimento
t	tonelada
T1	Tratamento 1
T2	Tratamento 2
T3	Tratamento 3
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Zn	zinco

USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA NA CULTURA DO MILHO. Botucatu, 2008. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: ELISANDRO PIRES FRIGO

Orientador: PROF. DR. ANTÔNIO EVALDO KLAR

Co-orientador: PROF. DR. SÍLVIO CÉSAR SAMPAIO

RESUMO

A região oeste do Paraná representa um importante pólo na produção de suínos. Essa atividade tanto nos criatórios quanto nos abatedouros é geradora de elevada quantidade de resíduos líquidos e sólidos, o que pode trazer sérios problemas ambientais. A solução encontrada pelos produtores é a disposição via fertirrigação nas culturas anuais. Este estudo teve por objetivo avaliar a cultura do milho (*Zea mays*) sob três tratamentos (T): T1 – fertirrigado com água residuária da suinocultura (ARS), T2 - irrigado com água e T3 – sequeiro, uma vez que tais sistemas produtivos reproduzem a realidade da região de estudo, porém até o momento sem adequado estudo agrônômico e ambiental. O experimento foi conduzido no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Cascavel/PR. O solo utilizado é classificado como Latossolo vermelho distroférico. A ARS utilizada foi proveniente de um produtor da região e a água de poço artesiano. O sistema de irrigação utilizado foi por aspersão. O delineamento experimental constituiu-se de três tratamentos, com três repetições, parcelas sub-divididas. A lâmina de irrigação utilizada foi de acordo com o aplicado de ARS pelos produtores da região. Foi utilizado milho cultivar CD 308 fornecido pela Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda (COODETEC). Anteriormente a semeadura foi realizado a determinação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC). Aos 15, 30, 45 e 60 dias após a semeadura foram determinadas a estatura de planta, massa fresca, massa seca, área foliar, NPK na folha e produtividade. Os valores de CUC medidos aceitáveis para sistemas de irrigação por aspersão. A estatura de planta foi influenciada pelas doses de ARS aplicadas a partir dos 30 dias após a emergência com maiores valores para aplicação de ARS seguido do tratamento com água, e o menor valor para o

tratamento T3. A aplicação de ARS foi a que apresentou os maiores valores de massa fresca e massa seca. O tratamento T1 foi o que obteve o maior valor para área foliar. Os valores médios encontrados para os teores de nitrogênio (N) nas folhas de milho estão abaixo dos recomendados, para fósforo (P) e potássio (K) estão dentro dos valores recomendados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Os tratamentos T1 e T2 foram os que apresentaram maior produtividade, apresentando um acréscimo de 30% em relação ao tratamento T3.

Palavras-chave: Suinocultura, Irrigação por Aspersão, Meio Ambiente.

USE OF WASTE WATER OF SUINOCULTURE IN THE CULTURE OF MAIZE.
Botucatu, 2008. 81 f. Thesis (Ph.D. in Agronomy / Irrigation and Drainage) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ELISANDRO PIRES FRIGO

Advisor: PROF. DR. ANTÔNIO EVALDO KLAR

Co-leader: PROF. DR. SÍLVIO CÉSAR SAMPAIO

SUMMARY

The west region of Paraná is an important pole in the production pig breeding. This activity both on farms and in slaughterhouses is generating high quantity of liquid and solid wastes, which can bring serious environmental problems. The solution found by the producers is available through fertirrigation in annual crops. This study aimed to assess the culture of maize (*Zea mays*) from three treatments (T): T1 - irrigated with wastewater of suinoculture (ARS), T2 - irrigated with water and T3 - dry, since such production systems reproduce the reality of the study region, but so far without adequate study agronomic and environmental. The experiment was conducted at the Experimental Center for Agricultural Engineering, owned by the Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus of Cascavel/ PR. The soil used is classified as Latossollo distroférico Vermelho. The ARS used was from a producer in the region and water from artesian well. The system of irrigation was used for spraying. The experiment consisted of three treatments, with three repetitions, sub-divided plots. The blade of irrigation was used according to the ARS applied for by producers in the region. It was used 308 CD cultivate maize provided by Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda (COODETEC). Prior to seeding was conducted to determine the coefficient of uniformity of Christiansen (CUC). At 15, 30, 45 and 60 days after sowing were certain stature of the plant, fresh mass, mass drought, leaf area, NPK on the sheet and productivity. The values of CUC measured acceptable for irrigation by sprinkler systems. The stature plant was influenced by doses of ARS applied from 30 days of emergency with higher values for application of ARS followed by treatment with water, and the lowest value for the treatment T3. The application of ARS was that

presented the highest values of fresh weight and dry weight. The T1 was what got the highest price for leaf area. The average values found in the levels of nitrogen (N) in the leaves of maize are below those recommended for phosphorus (P) and potassium (K) are within the range recommended by Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA). The T1 and T2 were those who had greater productivity, showing an increase of 30% compared to treatment T3.

Keywords: Suinoculture, Spraying for Irrigation, Environment.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil nos últimos anos vem ocupando lugar de destaque no setor agroindustrial dentro do cenário mundial, seja na produção de carne ou no beneficiamento de produtos de origem animal é um dos setores que mais cresce no país, bem como no Estado do Paraná.

O rebanho brasileiro de suínos é de cerca de 32 milhões de cabeças, dos quais aproximadamente 13 % encontram-se no Estado do Paraná, porém, esta atividade gera uma elevada quantidade de resíduos líquidos e sólidos, o que pode trazer sérios problemas ambientais se lançados em grandes quantidades nos córregos e nascentes.

Os recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos, estão se tornando cada vez mais escassos como consequência do aumento da população mundial e da intervenção antrópica no ambiente. Nesse processo, os recursos hídricos têm sido afetados cada vez mais negativamente em sua qualidade, nas reservas disponíveis e na capacidade natural de autodepuração.

O crescimento populacional e industrial tornam evidente a necessidade de se reduzir o consumo, reciclar e utilizar águas residuárias que, restauradas e em boas condições podem ser reutilizadas de forma planejada em diversas finalidades. O reuso de efluentes tratados não é uma prática nova, no entanto, há um interesse crescente em relação à necessidade de sua reutilização, principalmente na agricultura.

A disposição de águas residuárias no solo apresenta diversas vantagens, dentre as quais cabe destacar o tratamento da mesma utilizando o solo como meio filtrante, para o fornecimento de água e disponibilidade de nutrientes, pois desta forma a água residuária deixa de ser um problema e passa a ser um benefício ou solução para o grande volume de água residuária gerada pela cadeia produtiva de suínos na região, sem causar danos ou queda na produtividade da cultura em que será disposta.

Por tais motivos a elaboração de pesquisas sobre a utilização de águas residuárias no oeste do Paraná em culturas anuais como o milho, que ocupa lugar de destaque na produção agrícola do estado, abrangendo grandes áreas plantadas, é de fundamental importância para que seja possível iniciar investimentos para o reaproveitamento dessas águas, visando, além dos benefícios que estas podem proporcionar como fonte de nutrientes e matéria orgânica para o solo, diminuir os prejuízos que possam vir a causar ao meio ambiente.

Sendo assim, este estudo teve por finalidade avaliar o efeito no sistema água-solo-planta na cultura do milho utilizando água residuária da suinocultura bem como avaliar a uniformidade do sistema de irrigação utilizado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do milho

A cultura do milho, pela sua importância econômica, têm sido alvo de vários estudos, os quais visam à determinação dos níveis ótimos de diversos fatores que influenciam sua produção, como: fenologia, área foliar, pragas, doenças, exigências hídricas e nutricionais (IAPAR, 1991).

De acordo com os relatórios da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, SEAB (2008), referente aos dados da safra 2007/2008, o milho é o cereal mais produzido no Paraná, sendo que, desde a década de 70, o Estado vem se consagrando como o maior produtor nacional, correspondendo a 27 % do total produzido no Brasil. Na safrinha, a participação paranaense atinge o índice de 50 % de produção.

2.1.1 Importância na região oeste do Paraná

Segundo a SEAB (2008), referente aos dados da safra 2007/2008, a produção paranaense de milho gira em torno de oito milhões de toneladas ao ano, envolvendo cerca de 230 mil produtores, daí a importância desta cultura no contexto sócioeconômico do Estado. A atividade gera aproximadamente 70 mil empregos no campo, não computando a

mão-de-obra utilizada no complexo industrial, mais os empregos indiretos; além de produtor, o Paraná figura como tradicional fornecedor de milho para outros Estados, chega a exportar até 30 % do total produzido.

Dada a versatilidade do uso deste cereal, com a possibilidade de mais de 500 subprodutos, que detém cerca de 47 % da capacidade total de moagem instalada no Brasil. Dentre os produtos industrializados destacam-se: o farelo de milho, o óleo bruto e o refinado, a ração, o fubá e a farinha. O fato é que, a adoção de novas tecnologias faz, atualmente, do Paraná, um dos estados com maior rendimento por área, por possuir suas terras férteis e chuvas uniformes (SEAB, 2008).

2.1.2 Relação entre o clima e a cultura

Entre os fatores que afetam as culturas agrícolas, a água exerce papel fundamental na fisiologia das plantas. Atuam em dois processos fisiológicos principais: é responsável pela translocação de assimilados e nutrientes, onde atua como solvente e também é responsável pela regulação térmica das plantas (BULISANI *et al.*, 1987).

De acordo com Bulisani *et al.* (1987), na floração encontra-se a maior necessidade hídrica da cultura do milho, cerca de 7 a 8 mm dia⁻¹. Este valor tende a diminuir após o período de floração e formação do grão. Caso a planta não receba a quantidade de água necessária para seu metabolismo sua função fisiológica fica alterada, fechando os estômatos. Em um ciclo completo, a planta necessita em torno de 450 a 800 mm . ciclo⁻¹. Ainda segundo os autores, a temperatura também é fundamental no desenvolvimento do grão de milho, com altas temperaturas e umidade elevada, a qualidade da semente diminui, e com elevada temperatura e baixa umidade, há dificuldades na colheita, podendo ocasionar danos à semente.

A época do plantio do milho é outro fator de grande importância na produtividade. Nunes *et al.* (1992) ao realizar experimento localizado em Pentecostes, na região do Ceará, clima considerado semi-árido, solo de mediana fertilidade, confirmaram em experimentos implantados com intervalos de dez dias, entre 05 de fevereiro e 26 de abril, que a temperatura ótima para crescimento da planta e também para a máxima produtividade é de 27,3 °C, e que temperaturas mais baixas e/ou superiores a esta determinam redução das taxas de crescimento e de produtividade da referida cultura.

Tendo em vista que, praticamente, a totalidade do milho produzido no Estado é de lavoura de sequeiro, a produtividade e a produção apresentam grande variabilidade interanual, determinada em grande parte pela variabilidade da precipitação pluvial (SEAB, 2008).

Matzenauer e Fontana (1987) e Matzenauer *et al.* (1995) mostraram a relação entre produtividade do milho e condições hídricas, especialmente no período mais crítico dessa cultura em relação à água (pendoamento – espigamento). Em geral, esses estudos foram feitos com experimentos no campo e, portanto, com vários fatores como fertilidade do solo, cultivar, densidade populacional, controle fitossanitário, e outros, mantidos como constantes.

2.2 Irrigação: tecnologia para aumento de produtividade agrícola

O rápido crescimento da população mundial, aliado ao aumento da renda demanda a expansão das áreas de produção agrícola, que pode ser atendida por meio da ocupação de áreas não cultivadas e pelo aumento da produtividade, através da adoção de novas tecnologias, como a irrigação; tal tecnologia tem por finalidade fornecer a água necessária para o pleno desenvolvimento das plantas, porém, esta pode ser associada a outras finalidades, como a aplicação de produtos químicos, biológicos e águas residuárias (GONÇALVES, 2006).

De acordo com Gonzaga Neto (2000), a irrigação constitui-se na alternativa para a melhoria do rendimento de grande parte das culturas, proporcionando um incremento médio de produtividade na ordem de 20 %, e, com isto propicia redução dos custos unitários de produção. Entretanto, apenas com um planejamento racional da agricultura irrigada, baseado em um projeto bem elaborado, adequadamente manejado e sem degradação do meio ambiente, é que os irrigantes poderão usufruir plenamente dos benefícios advindos da técnica de forma a se tornarem mais competitivos, em um mundo cada vez mais globalizado.

2.2.1 Irrigação por aspersão

Irrigação é o método artificial de aplicação de água na agricultura, que tem por finalidade suprir as necessidades hídricas da planta, em caráter total ou suplementar.

Isto quer dizer que a irrigação viabiliza o cultivo de espécies de plantas em locais onde sem sua aplicação seria impossível (FRIGO, 2006).

A irrigação por aspersão tem por objetivo distribuir água sobre a superfície do solo, de modo a permitir a infiltração sem escoamento superficial, além disso, a água deve ser distribuída de maneira o mais uniforme possível, de forma a se obter uma adequada uniformidade de aplicação em condições de campo (MACHADO et al., 2006).

No método de irrigação por aspersão, a água é aspergida sobre as plantas, simulando-se uma chuva, ou sob as plantas. É o método mais utilizado na atualidade e pode ser fixo ou móvel, com movimentação manual ou mecânica. Caracteriza-se pelo uso de tubulações móveis de engate rápido ou fixo e enterrado, irrigando normalmente áreas pequenas ou médias. Os sistemas de irrigação por aspersão convencional permitem muitas possibilidades de adaptações, visando a economia no uso da mão-de-obra, melhoria na eficiência de irrigação e adequação as distintas situações de campo (SANTANA et al., 2000).

2.2.2 Uniformidade de distribuição de água

A aplicação de água por um sistema de irrigação, de acordo com Peri (1979) e Walker (1979) **apud** Machado (2006), é naturalmente desuniforme e, para alguns métodos, altas uniformidades somente serão obtidas com o acréscimo de investimento ou elevação nos custos de operação.

Ring e Heermann (1978) **apud** Machado (2006) afirmam que é necessário determinar o desempenho de um sistema de irrigação para poder se avaliar a uniformidade de distribuição da água, que é uma característica bastante útil para comparar sistemas. Uma uniformidade deficiente resulta em área super ou sub-irrigada, de modo que um sistema com baixa uniformidade de distribuição teria que aplicar mais água para a obtenção do mesmo nível de produção, e paralelamente, se dois sistemas distribuem o mesmo volume, o sistema que melhor distribui a água na área tem maior eficiência no uso da água.

Para Frizzone (1992) o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) expressa a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada na superfície do solo em relação à lâmina média aplicada, por meio de medidas de dispersão expressas na forma adimensional. A baixa eficiência de aplicação da irrigação por aspersão está relacionada com a

não-uniformidade de distribuição de água e com as perdas de água por evaporação e arrastamento pelo vento.

Segundo Merriam e Keller (1978) para culturas de alto rendimento econômico, com sistema radicular raso, a irrigação por aspersão deve apresentar alta uniformidade de distribuição. Para essas culturas o CUC deve ser superior a 88%. Para cultivos com sistema radicular médio, o CUC pode variar entre 80 e 88%. Em culturas com sistema radicular profundo, o CUC pode variar entre 70 e 80%.

Bernardo (1989) define a eficiência em potencial de aplicação como a estimativa da porcentagem total da água aplicada pelo sistema que atinge a superfície do solo e ou das plantas. Estas eficiências expressam as perdas por evaporação e pela deriva ocasionada pelo vento, sendo um parâmetro que relaciona a quantidade de água necessária à cultura com a quantidade de água a ser aplicada pelo sistema.

De acordo com Machado *et al.* (2006) muitos fatores podem interferir no nível de uniformidade de distribuição da água e podem ser classificados em climáticos e não climáticos. Os fatores climáticos são: evaporação, temperatura do ar, umidade relativa e condições locais do vento. Os fatores não-climáticos são relacionados ao equipamento e ao método de avaliação.

Continuando, quanto ao equipamento, no caso de sistemas por aspersão, os fatores são: pressão de operação do emissor, velocidade e alinhamento da linha lateral do equipamento e altura do emissor. A redução da altura do emissor em relação à cultura é uma técnica muito utilizada para reduzir as perdas por evaporação e deriva. Quanto ao método de avaliação os fatores são: espaçamento e número de linhas radiais de coletores (MACHADO *et al.*, 2006).

2.2.2.1 Ação do vento

Dentre as variáveis climáticas, a irrigação por aspersão é influenciada principalmente pela ação do vento. Vários trabalhos de pesquisa têm demonstrado que o aumento da velocidade do vento provoca a diminuição da uniformidade de distribuição de água, como resultado da distorção do perfil de aplicação de água e da redução da área coberta

pelo aspersor, e, conseqüentemente, pela diminuição da sobreposição dos jatos de água (RIBEIRO, 1982 *apud* MACHADO, 2006).

A influência da direção do vento sobre a distribuição de água do aspersor é bastante controversa na literatura. Alguns trabalhos têm relatado que o efeito encontrado sobre o CUC foi muito pequeno, ou nulo, como em estudos de Wierma (1995) e Nogueira e Souza (1987) *apud* Machado (2006).

Moynahan (1972) *apud* Machado (2006) verificou não existir orientação única na linha lateral em relação ao vento que possa resultar em maior CUC. Shull e Dylla (1976) *apud* Machado (2006) afirmaram que o melhor posicionamento da linha lateral é perpendicular à direção do vento; já Lima (2003) *apud* Machado (2006) menciona que o melhor posicionamento da linha lateral é o paralelo à direção do vento.

Ribeiro (1982) menciona que o vento é o fator climático responsável pelas maiores variações na uniformidade e na eficiência de aplicação da água, sob irrigação por aspersão. Segundo Bernardo (1989) *apud* Machado (2006) além da velocidade do vento, a umidade relativa e a temperatura do ar também exercem influência marcante no uso da irrigação por aspersão.

O efeito do vento no perfil de distribuição da água do aspersor pode ser atenuada pela diminuição do espaçamento entre aspersores, no sentido perpendicular a direção do vento (SANTANA *et al.*, 2000).

2.3 Reuso de água

Segundo Nurrizzo e Mezzanote (1994) o reuso de água, a reutilização ou ainda, o uso de águas residuárias, não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos. Há relatos de sua prática na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação. No início do século XX, com o desenvolvimento de modernos sistemas de tratamento de águas residuárias e a preocupação com microrganismos contaminantes houve redução no uso destas para fins de irrigação.

Contudo, a demanda crescente por água tem feito do reuso planejado da água, um tema atual e de grande importância. Neste sentido, deve-se considerar o reuso de

água como parte de uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente da água, compreendendo também o controle de perdas e desperdícios, e a minimização da produção de resíduos e do consumo de água (NURRIZZO e MEZZANOTE, 1994).

O reuso da água reduz a demanda sobre os mananciais devido à substituição da água potável por água de qualidade inferior. Esta prática, atualmente muito discutida e posta em evidência e já utilizada em alguns países, é baseada no conceito de substituição de mananciais. Tal substituição é possível em função da qualidade requerida para uso específico. Desta forma, grandes volumes de água potável podem ser poupados pelo reuso, quando se utiliza água de qualidade inferior (geralmente efluentes pós-tratados) para atendimento das finalidades que podem prescindir de água, dentro dos padrões de potabilidade (CHERNICHARO, 2001).

Na Tabela 1 são apresentados os tipos de reuso de água empregada em países industrializados, excetuando-se o reuso potável direto, onde a água residuária tratada é disponibilizada em um sistema público de abastecimento (CROOK, 1993).

Tabela 1: Tipos de reuso de água.

TIPOS DE REUSO	APLICAÇÕES
Irrigação paisagística	Parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de auto-estradas, campi universitários, cinturões verdes, gramados residenciais.
Irrigação de campos para cultivos	Plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais, proteção contra geadas.
Usos industriais	Refrigeração, alimentação de caldeiras, lavagem de gases, água de processamento.
Recarga de aquíferos	Recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha, controle de recalques de subsolos.
Usos urbanos não-potáveis	Irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas e pontos de ônibus, etc.
Represamentos	Represas ornamentais, fins recreacionais e desportivos (navegação, pesca, esportes aquáticos, etc.).
Finalidades Ambientais	Aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, alagados, indústrias de pesca.
Usos diversos	Aqüicultura, fabricação de neve, construções, controle de poeira, dessedentação de animais.

Fonte: Crook (1993).

De acordo com Shelef (1991) em Israel no ano de 1985, os efluentes de sistemas de tratamento representavam cerca de 7% das águas de irrigação; em 2000, cerca de 25% e as previsões para o ano de 2010 é que os efluentes tratados responderão por quase 30% de toda a água disponibilizada para a agricultura neste país.

Para Manedov et al. (2001), nas próximas quatro décadas, os efluentes podem tornar-se a principal fonte para irrigação em Israel. Da quantidade total de água a ser utilizada na irrigação no ano de 2040 em Israel e na Palestina, 70% deverá ser de água residuária, tornando-se uma função dominante na agricultura sustentável.

A lei nº. 9.433 de 8 de janeiro de 1997, em seu capítulo II, artigo 2º, inciso I, estabelece entre os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, a necessidade de **"assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos"** (PNRH, 1997).

Considerando que já existe atividade de reuso agrícola em certas regiões do Brasil, a qual é exercida de maneira informal e sem as salvaguardas ambientais e de saúde pública adequadas, torna-se necessário institucionalizar, regulamentar e promover o setor pela criação de estruturas de gestão, preparação de legislação, disseminação de informações, e do desenvolvimento de tecnologias compatíveis com as condições técnicas, culturais e sócio-econômicas do país (CAVALCANTI, 1997).

2.3.1 Utilização de águas residuárias na agricultura

Devido à grande vazão envolvida que alcança até 80% do uso consuntivo, em alguns países, especial atenção deve ser atribuída ao reuso de água para fins agrícolas. Atualmente a agricultura depende de suprimento de água a um nível tal que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem o desenvolvimento de novas fontes de suprimento e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais. Esta condição crítica é fundamentada no fato de que o aumento da produção, não pode mais ser efetuado pela mera expansão de área cultivada. Poucas exceções, tais como áreas significativas do nordeste brasileiro, as quais vêm sendo recuperadas para uso agrícola, as terras aráveis no mundo se aproximam muito rapidamente de seus limites de expansão (HESPANHOL, 1997).

De acordo com o IAPAR (1989) *apud* Cordeiro Netto e Barraqué (1991), a Índia já explorou praticamente 100% de seus recursos de solo arável, enquanto que Bangladesh dispõe de apenas 3% para expansão. O Paquistão, as Filipinas e a Tailândia, ainda têm um potencial de expansão de aproximadamente 20%. A taxa global de expansão de terra arável diminuiu de 0,4% durante a década 1970-1979, para 0,2% durante o período 1980-1987. Nos países em vias de desenvolvimento e em estágio de industrialização acelerada, a taxa de crescimento também caiu de 0,7% para 0,4% no mesmo período.

Segundo Cavalcanti (1997), durante as duas últimas décadas, o uso de esgotos para irrigação de culturas aumentou significativamente devido aos seguintes fatores:

- Dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação;
- Custo elevado de fertilizantes;
- Segurança de que os riscos de saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos, se as precauções adequadas são efetivamente tomadas;
- Custos elevados dos sistemas de tratamento, necessários para descarga de efluentes em corpos receptores;
- Reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, do valor intrínseco da prática.

Na exploração pecuária, os dejetos diluídos, a água desperdiçada em bebedouros e a água de lavagem de instalações para a criação em regime de confinamento geram grandes volumes de águas residuárias, as quais são fontes significativas de poluição ambiental (GONÇALVES et al., 2006 *apud* FRIGO, 2006).

A partir da segunda metade da década de 90, a atividade suinícola em Minas Gerais, no ano de 1995, principalmente na região da Zona da Mata, sofreu grande expansão com o crescimento das granjas então existentes e a implantação de inúmeros projetos novos. Como consequência da intensificação da produção suinícola, houve aumento do volume de dejetos produzidos por unidade de área, o que tem gerado problemas de manejo,

armazenamento, distribuição, tratamento ou disposição no solo, aumentando, com isto, os custos operacionais da atividade (MINAS GERAIS, 1995).

Em varias regiões é comum a utilização da água residuária da suinocultura, aproveitando a matéria orgânica e os nutrientes para adubação. Dessa maneira, reduzem-se os custos de adubação da cultura e evita-se a contaminação dos cursos d'água pelo lançamento das águas residuárias (GONÇALVES, 2006).

Conforme Woodward (1959), a introdução de fertilizantes orgânicos e inorgânicos em água de irrigação é praticada há séculos. Uma das principais aplicações por aspersão começou com adubos líquidos em pastagens.

Para Gonçalves (2006) a distribuição das águas residuárias da suinocultura (ARS) no campo pode ser feita de maneira eficiente, através de sistemas de irrigação. No entanto, o dimensionamento adequado desses sistemas requer o conhecimento das características físicas e químicas do efluente a ser aplicado.

Águas residuárias com elevadas concentrações de sólidos em suspensão podem acarretar problemas desde a captação até sua distribuição no solo pelos equipamentos de irrigação, que podem sofrer corrosão e apresentar entupimentos, acarretando diminuição da vida útil e baixas uniformidades de distribuição de água no solo. Sistemas de irrigação por aspersão e localizada podem ser vantajosos na distribuição de águas residuárias, se existirem preocupação com seu manejo, como formas de tratamento e filtração (GONÇALVES, 2006).

A aplicação dos nutrientes contidos nos efluentes tratados pode reduzir, ou mesmo eliminar, a necessidade de fertilizantes comerciais; além disso, a matéria orgânica contida nos esgotos aumenta a capacidade do solo em reter água (CHERNICHARO, 2001).

A lâmina aplicada é de extrema importância quando se necessita avaliar o uso de águas residuárias na agricultura (FEIGIN, RAVINA e SHALHEVET, 1991).

Segundo Mendonça et al. (2003), os métodos de irrigação utilizando esgotos sanitários podem ser por inundação, sulcos, aspersão, localizada e superficial. Estes métodos são acompanhados de cuidados em relação à aplicação. Nos sistemas por inundação, sulcos e aspersão deve-se atentar para a seleção da cultura e proteção dos agricultores envolvidos na aplicação; já para o sistema por aspersão utilizando-se água residuária da

suinocultura, deve-se ter cuidado com as comunidades circunvizinhas devido aos riscos de deriva.

Continuando, para a irrigação localizada e superficial são necessários o uso de equipamentos de proteção individual (EPI's) para os operadores, e pré-tratamento do efluente para evitar a obstrução dos emissores (MENDONÇA et al., 2003).

Conforme Gomes et al. (2001) as águas residuárias da suinocultura podem apresentar nutrientes em quantidades suficientes para serem aproveitadas na fertirrigação de culturas agrícolas, levando ao aumento da produção, sendo que aproximadamente 2/3 do nitrogênio (N), 1/3 do fósforo (P) e 100% do potássio (K) encontram-se na água residuária na forma mineral, isto é, forma prontamente assimilada pelas culturas.

Konzen et al. (1997) verificaram que 55 a 60 t de águas residuárias de suinocultura equivalem, com base na quantidade de nutrientes, a uma tonelada de adubo químico (fórmula 9-33-12 e uréia); sendo assim, seriam necessárias 17 a 18 t ha⁻¹ de adubo orgânico, para fertilização equivalente à adubação química normalmente recomendada para o milho.

Gomes (1995) avaliou o efeito da aplicação de adubo orgânico nas dosagens de 0, 10, 20 e 40 m³ ha⁻¹, e de adubo mineral na fórmula 4-14-18, nas doses de 0, 250 e 500 kg ha⁻¹, sobre os componentes de produção do milho e verificou que o uso de doses maiores do adubo orgânico e mineral contribuiu para aumentar a quantidade de nutrientes disponível às plantas, resultando em aumento significativo da altura de plantas e do índice de espigas. Verificou, também, que não houve diferença significativa no rendimento da cultura quando se associou adubo orgânico e adubo mineral.

Freitas et al. (2004), estudando o efeito de aplicação de águas residuárias sobre a produção do milho para silagem, observaram que os valores de pH no solo permaneceram inalterados com a adição de águas residuárias. Os níveis de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu) e zinco (Zn) no solo aumentaram com a aplicação de águas residuárias da suinocultura. No entanto, deve-se atentar para o risco de salinização e de alteração na capacidade de infiltração de água no solo, relacionada ao aumento da razão de adsorção de Na. O nível de ferro (Fe) praticamente não foi

alterado. Continuando, a concentração de nitrato excedeu aos padrões de potabilidade de $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ no final do ciclo da cultura, indicando grande risco de contaminação de águas subterrâneas decorrentes de plantios subseqüentes.

Chateaubriand (1988) verificou que a aplicação de água residuária de suinocultura, por meio de sistema de irrigação por sulcos, em terreno de baixada, com solo de textura argilo-arenosa, na região de Ponte Nova/MG, propiciou produtividade de $8.766 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de milho, alcançada com dosagem de $149 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, produtividade de cerca de 40% superior à obtida com a testemunha. A aplicação de águas residuárias de suinocultura também aumentou a altura de plantas em 19% e o peso de espigas em 65%, comparativamente à testemunha. As águas residuárias foram aplicadas em dez irrigações efetuadas durante o ciclo da cultura.

Sousa et al. (2001) avaliando a cultura do arroz concluíram que a produtividade média do arroz irrigado com efluente sanitário superou estatisticamente o irrigado com água de abastecimento e adubo mineral, ocorrendo número maior de panículas e sem apresentar indicadores de coliformes fecais.

Para Armon et al. (1994) a irrigação com efluentes, sem controle, pode se tornar um problema para a saúde pública. Um estudo feito por estes autores, utilizando irrigação por aspersão em alface, couve, cebola, cenoura, rabanete e tomate, mostrou clara correlação entre a qualidade do efluente e o grau de contaminação nos vegetais irrigados com efluentes altamente contaminados por coliformes fecais e *Salmonella ssp.*

Já Nielsen et al. (1989), utilizando efluente secundário na irrigação por gotejamento nas culturas do tomate, pimenta, cebola, pepino, feijão e melão, concluíram que a produção foi maior ou semelhante à área obtida com água superficial. Porém, a irrigação com efluente resultou em diminuição de Zn, aumento de P e resultados variáveis para outros nutrientes da planta.

Gomes Filho et al. (2001), estudando a remoção da carga orgânica e produtividade da aveia forrageira em cultivo hidropônico com águas residuárias da suinocultura concluíram que houve aumento na produtividade de até $31,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, superando em 5% a produção com água de abastecimento e adubação mineral.

Segundo Hespanhol (1997), os benefícios econômicos do reuso agrícola são auferidos graças ao aumento da área cultivada e ao aumento da produtividade agrícola, os quais são mais significativos em áreas onde se depende apenas de irrigação

natural, proporcionada pelas águas de chuvas. Um exemplo notável de recuperação econômica, associada à disponibilidade de águas residuárias para irrigação é o caso do Vale de Mesquital, no México, onde a renda agrícola aumentou de quase zero no início do século, até aproximadamente quatro milhões de dólares americanos, em 1990.

Na Tabela 2 são mostrados os resultados experimentais, efetuados em Nagpur, Índia, pelo Instituto Nacional de Pesquisas de Engenharia Ambiental (NEERI), o qual investigou os efeitos da irrigação com águas residuárias sobre as culturas produzidas (HESPANHOL, 1997).

Tabela 2: Aumento da produtividade agrícola ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) possibilitada pela irrigação com águas residuárias.

Irrigação com efluente	Cultura				
	Trigo 8 anos ^(a)	Feijão 5 anos ^(a)	Arroz 7 anos ^(a)	Batata 4 anos ^(a)	Algodão 3 anos ^(a)
Bruto	3,34	0,90	2,97	23,11	2,56
Primário	3,45	0,87	2,94	20,78	2,30
Lagoa de estabilização	3,45	0,78	2,98	22,31	2,41
Água + NPK	2,70	0,72	2,03	17,16	1,70

^(a)- Número de anos para cálculo da produtividade média.

Fonte: Hespanhol (1997).

Efluentes de sistemas convencionais de tratamento, de modo geral, têm uma concentração típica de $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de nitrogênio total e $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de potássio total, proporcionando, portanto, às taxas usuais de irrigação em zonas semi-áridas, uma aplicação de N e P de 300 e $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, respectivamente. Essa aplicação de nutrientes reduz substancialmente, ou mesmo elimina a necessidade do emprego de fertilizantes comerciais. Além dos nutrientes (e dos micronutrientes não disponíveis em fertilizantes químicos), a aplicação proporciona a adição de matéria orgânica, a qual age como condicionador do solo, aumentando sua capacidade de reter água (HESPANHOL, 1997).

Ramos et al. (1989) compararam a produção de uvas de mesa, irrigadas com água residuária diluída a 50%, demonstrando produção ligeiramente superior à irrigação normal, sem efeito negativo sobre a qualidade das uvas.

Monte e Sousa (1992) observaram que a irrigação com águas residuárias de lagoa facultativa aumentou os rendimentos das culturas de milho e de sorgo, além de evitar o uso de quantidades significativas de fertilizantes.

Vasquez e Montiel *et al.* (1996) constataram que a cultura do milho, quando irrigada com águas residuárias, absorve maior quantidade de N na fase de crescimento do que na fase de maturação, acumulando na última, N na forma de nitrato no solo.

Segundo Junchen (2000) os efluentes provenientes de laticínios e frigoríficos utilizados na produção de alface podem substituir perfeitamente as adubações químicas nitrogenadas. O solo praticamente não sofreu alterações com relação aos parâmetros iniciais determinados, porém, esta estabilidade pode ser associada às diluições dos efluentes realizadas na execução do projeto.

Saraiva (2004) utilizando manipueira para fertirrigar a cultura do milho, observou que as plantas não apresentaram desenvolvimento satisfatório. Porém, ocorreu acréscimo do teor de nitrogênio no solo, possivelmente, ocasionado pela presença deste nutriente no efluente.

Segundo Freitas *et al.* (2004) a cultura do milho para silagem, quando irrigada com águas residuárias, aumenta a produtividade de matéria verde, com valores médios de 45 a 46 t . ha⁻¹, cerca de 50% superior à testemunha irrigada com água de abastecimento. Houveram ainda aumento nos valores de altura das plantas, índice de espigas, comprimento e peso de espigas do milho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O experimento foi conduzido no período de fevereiro de 2008 a junho de 2008 no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Cascavel, localizada na BR 467 km 16, sentido Cascavel - Toledo, Paraná, cujas coordenadas geográficas são 24°53'S de latitude, 53°23'W de longitude e altitude média de 682 metros.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico de textura argilosa (EMBRAPA, 1999), composto de 68% de argila, 13% de silte e 19% de areia. As análises químicas dos solos, antes da aplicação dos tratamentos podem ser observadas nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3: Resultados da análise de solo da área experimental irrigada com água residuária.

ELEMENTOS	C_{molec}/ dm³	INTERPRETAÇÃO
Cálcio	5,51	Alto
Magnésio	3,19	Alto
Potássio	0,10	Médio
Alumínio	0	Baixo
H + Alumínio	4,61	Alto
Soma de bases	8,8	Alto
CTC	13,41	Alto
ELEMENTOS	g/dm³	INTERPRETAÇÃO
Carbono	14,82	Alto
Matéria Orgânica	25,49	Alto
ELEMENTOS	%	INTERPRETAÇÃO
Sat. Alumínio	0	Baixo
Sat. Bases	65,62	Médio
ELEMENTOS	mg/dm³	INTERPRETAÇÃO
Fósforo	2,97	Baixo
Ferro	22,88	Médio
Manganês	21,26	Alto
Cobre	6,49	Alto
Zinco	0,97	Médio
pH	5,2	

Fonte: Laboratório de análise de solos – SOLANÁLISES® (2008).

Tabela 4: Resultado da análise de solo da área experimental irrigada com água.

ELEMENTOS	C_{mol}/ dm³	INTERPRETAÇÃO
Cálcio	4,18	Alto
Magnésio	2,44	Alto
Potássio	0,08	Baixo
Alumínio	0	Baixo
H + Alumínio	4,61	Alto
Soma de bases	6,7	Alto
CTC	11,31	Alto
ELEMENTOS	g/dm³	INTERPRETAÇÃO
Carbono	11,96	Médio
Matéria Orgânica	20,57	Médio
ELEMENTOS	%	INTERPRETAÇÃO
Sat. Alumínio	0	Baixo
Sat. Bases	59,24	Médio
ELEMENTOS	mg/dm³	INTERPRETAÇÃO
Fósforo	1,98	Baixo
Ferro	21,62	Médio
Manganês	14,02	Alto
Cobre	6,43	Alto
Zinco	0,49	Baixo
pH	5,2	

Fonte: Laboratório de análise de solos – SOLANÁLISES® (2008).

Tabela 5: Resultado da análise de solo da área experimental de sequeiro.

ELEMENTOS	C_{mol}/ dm³	INTERPRETAÇÃO
Cálcio	5,27	Alto
Magnésio	3,04	Alto
Potássio	0,12	Médio
Alumínio	0	Baixo
H + Alumínio	4,61	Alto
Soma de bases	8,43	Alto
CTC	13,04	Alto
ELEMENTOS	g/dm³	INTERPRETAÇÃO
Carbono	13,26	Médio
Matéria Orgânica	22,81	Médio
ELEMENTOS	%	INTERPRETAÇÃO
Sat. Alumínio	0	Baixo
Sat. Bases	64,65	Médio
ELEMENTOS	mg/dm³	INTERPRETAÇÃO
Fósforo	2,75	Baixo
Ferro	19,11	Médio
Manganês	16,65	Alto
Cobre	6,61	Alto
Zinco	0,63	Baixo
pH	5,2	

Fonte: Laboratório de análise de solos – SOLANÁLISES® (2008).

3.2 Croqui da área experimental

Na Figura 1 é apresentado o croqui de um bloco experimental com a localização das parcelas onde foi implantada a cultura com suas respectivas repetições.

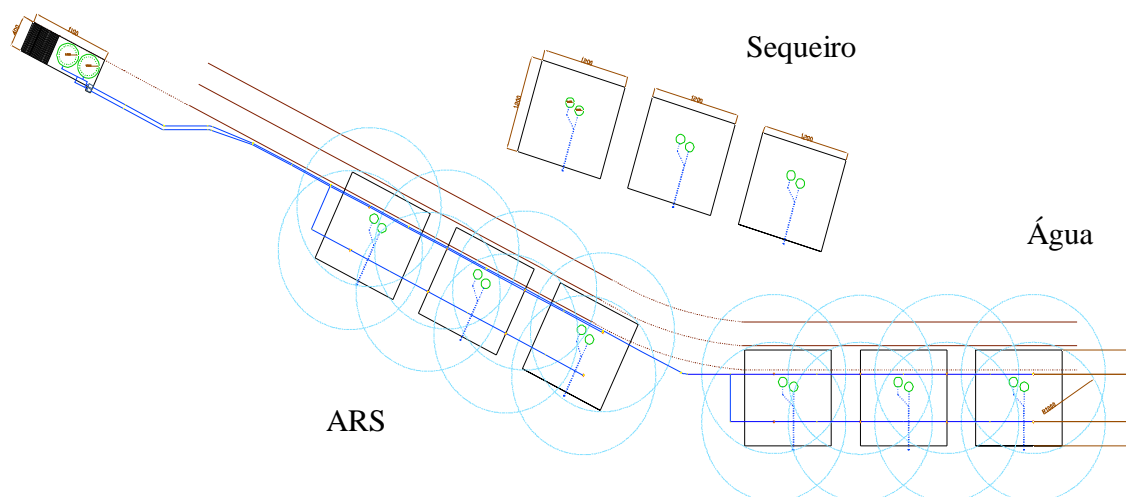


Figura 1: Croqui de um bloco experimental com a localização das parcelas onde foi implantada a cultura com suas respectivas repetições.

3.3 Preparo do solo

A área experimental foi dessecada dez dias antes da implantação dos tratamentos, utilizando glifosate, marca comercial o Roundup®, com dosagem de $2 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$.

3.4 Adubação

A adubação foi realizada de acordo com a interpretação dos dados obtidos da análise de solo (Tabelas 3, 4 e 5), não havendo necessidade de calagem, apenas de adubação de semeadura, seguindo metodologia da EMBRAPA (1999). Para tanto se utilizou adubo químico na formulação 8-20-20 (NPK) em todas as parcelas, na dosagem de $330 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

3.5 Cultura

Para a implantação do experimento foi fornecido o híbrido da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (COODETEC), CD 308, de ciclo precoce, com floração em média 71 dias após o plantio, altura média de plantas de 194 cm, altura de espiga de 109 cm, grão semi-duro, cor alaranjada, tolerante ao tombamento de colmo e empalhamento da espiga excelente. A cultivar é indicada tanto para produção de grãos como para silagem. A população de plantas indicada é de 57.000 plantas por hectare, em média.

O espaçamento entrelinhas foi de 0,8 m.

Para o plantio foi utilizada a densidade de plantas recomendada levando-se em consideração uma porcentagem de germinação de 80%, sendo assim semeadas uma densidade de 71.250 sementes por hectare.

O plantio foi conduzido de duas formas, mecanizado e manual, devido ao fato de não ser possível o plantio mecanizado em toda área do experimento, por estarem instalados lisímetros na área.

O plantio mecanizado foi realizado no dia 25 de fevereiro de 2008, com trator da marca comercial New Holland® e semeadora da marca comercial Vence Tudo®, equipada com disco de corte de palha, disco de incorporação de adubo, disco para incorporação de sementes e sistema de cobertura de sementes.

O plantio manual foi realizado no dia 26 de fevereiro de 2008, sendo feito um sulco mais profundo e depositado o adubo, em seguida levemente coberto o sulco de forma a não haver contato nem acomodamento próximo ao adubo, para garantir uma boa germinação. As sementes foram da mesma forma depositadas manualmente nos sulcos parcialmente cobertos, numa densidade de seis sementes por metro, aumentando a densidade de plantas para 75.000 plantas por hectare, isso devido ao fato do plantio manual diminuir a porcentagem de germinação.

3.6 Tratos culturais

Não foram utilizados quaisquer tipo de agrotóxico (herbicidas e inseticidas) após o plantio do milho.

3.7 Sistema de irrigação por aspersão

Na área escolhida para a realização do experimento foi colocado um reservatório independente, com capacidade de 15 m³ para armazenar água residuária da suinocultura (T1) e um outro com mesma capacidade para armazenar água oriunda de um poço artesiano (T2).

O efluente (ARS) e a água foram conduzidos através de conjunto motobomba e sistema de irrigação por aspersão, até um bloco subdividido em três parcelas que possuíam dimensões de 12 m por 12 m.

Na Figura 2 é apresentado a implantação do sistema de irrigação e a Figura 3, a área experimental.



Figura 2: Sistema de irrigação (cabeçal de controle).



Figura 3: Área experimental.

3.8 Características do aspersor Eco A232 capacete branco

Segundo a descrição do fabricante Fabrimar®, o Aspersor Eco A232 Capacete Branco® (Figura 4), possui versatilidade e baixo custo como principais características. Seu quebra-jato externo é ajustável para que a distribuição de água seja adequada à necessidade de campo. O alcance e a pulverização do jato também podem ser alterados, proporcionando a gota na medida certa. Diversos diâmetros de bocais; mancal com proteção contra elementos abrasivos; termoplástico aditivado contra radiação ultravioleta e mola em aço inox pré-ajustada.



Figura 4: Aspersor Eco A232 Capacete Branco.

Os dados da coluna de espaçamento máximo recomendado referem-se às distâncias máximas de instalação entre aspersores (A) e entre linhas (L), e suas respectivas precipitações, como mostra a figura 5. Em condições de ensaio, com vento zero, esses limites garantem uma boa uniformidade na distribuição de água. Com ventos o fabricante Fabrimar (2007) recomenda a diminuição desses espaçamentos.

Eco A232 capacete branco						
	pressão na base (mca)	vazão total (m³/h)	diâmetro irrigado (m)	espaçamento máx. recomendado		
				A x L (m x m)	peq (mm/h)	
6,4 x 3,2	25	3,02	31	18x24	7,0	
	30	3,30	33	18x24	7,6	
	35	3,55	35	24x24	6,2	
	40	3,80	37	24x24	6,6	

Fonte: FABRIMAR (2007).

Figura 5: Características técnicas do Aspersor Eco A232 Capacete Branco.

3.9 Coletores utilizados

Foi utilizado o kit de ensaio da Fabrimar (Figura 6), destinado a ensaios de uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão. O kit é composto de: conjunto de 15 coletores graduados para coleta da água e 15 hastes de alumínio estrutural (varetas cilíndricas) para fincar ao solo e sustentar por encaixe as canecas coletoras, a fim de mantê-las a aproximadamente 0,60 m de altura do solo. Para coleta dos dados nos coletores, foi utilizada uma proveta de 100ml.



Fonte: FABRIMAR (2007).

Figura 6: Kit de ensaio de precipitação, marca comercial Fabrimar®.

3.10 Lâmina de irrigação

A lâmina de irrigação foi aplicada de acordo com a quantidade de efluente utilizada pelos produtores da região oeste do Paraná e dispostas no solo, utilizando uma lâmina fixa, também obtida de acordo com dados da região. Em média os produtores utilizam 240.000 L por ha . mês⁻¹, totalizando uma lâmina de 24 mm aproximadamente; no caso do experimento esta lâmina foi aplicada em duas etapas, ou seja, a cada 15 dias, 12 mm aproximadamente.

3.11 ARS e água

A ARS (T1) foi proveniente de uma propriedade rural localizada no município de Cascavel/PR, próximo ao NEEA (Figura 7). A água utilizada na irrigação foi proveniente de um poço artesiano (T2).



Fonte: Google Earth (2007).

Figura 7: Propriedade fornecedora da ARS.

A água residuária foi trazida até o local do experimento e depositada no reservatório referente à mesma, com capacidade de 15 m³, no qual havia uma tela para retenção de pêlos, visando diminuir o entupimento dos bocais dos aspersores. Após passar por sistemas de filtros (tela) foi conduzida pelos aspersores até a cultura, com a utilização de motobombas (Figura 8).

Durante as aplicações, manteve-se constante a lâmina de ARS no sistema de irrigação, e o controle do volume aplicado foi realizado no reservatório, já que suas dimensões eram conhecidas. O reservatório da ARS foi ligado à sucção da motobomba, através de uma tubulação de policloreto de vinila (PVC), controlando-se a vazão da ARS com registro de gaveta.

A pressão foi medida com a utilização de manômetros (Figura 9).



Figura 8: Reservatórios de ARS e conjunto motobomba utilizado.



Figura 9: Manômetro utilizado.

A ARS foi analisada antes de sua utilização de acordo com os parâmetros apresentados nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Análise físico-química da ARS.

ELEMENTOS	mg/Kg
Nitrogênio	37,56
Fósforo	5,71
Potássio	6
Cálcio	3,05
Magnésio	1,1
Enxofre	0,6
Carbono	19,20
Matéria Orgânica	33,02
ELEMENTOS	mg/Kg
Cobre	32
Zinco	48
Ferro	1150
Manganês	31
Boro	36
Umidade	100%
pH	8,2

Fonte: Laboratório de análise de água – SOLANÁLISES® (2008).

Tabela 7: Análise físico-química da ARS.

PARÂMETRO	RESULTADO
Amônia	Traços
Cálcio	3,05 mg / L
Cobre	32 mg / L
Condutividade	3,48 u/S cm
DBO	380 mg / L
DQO	1200 mg / L
Ferro	1150 mg / L
Fósforo Total	5,71 mg / L
Magnésio	1,1 mg / L
Manganês	31 mg / L
Nitrato	34,3 mg / L
Nitrito	140 mg / L
Nitrogênio Amoniacal	Traços
NTK - Nitrogênio Orgânico + Amoniacal	37,56 mg / L
pH	8.23
Potássio	6 mg / L
Sódio	Traços
Sólidos Dissolvidos	8,17 mg / L
Sólidos Sedimentares	Traços
Sólidos Suspensos	2,513 mg / L
Sólidos Totais	3,33 mg / L
Turbidez	Traços
Zinco	48 mg / L

Fonte: Laboratório de análise de água – SOLANÁLISES® (2008).

3.12 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento blocos ao acaso, com três tratamentos e três repetições para cada tratamento, totalizando nove parcelas. A dimensão de cada parcela experimental foi de 12 x 12 m, com espaçamento entre parcelas de 12 m.

Para análise estatística dos dados foram utilizados análise de variância e teste de F em nível de 5% de probabilidade; as médias dos tratamentos foram comparadas

entre si pelo teste de Dunet e teste de Tukey a 5% de probabilidade, por haver um tratamento testemunha. Para todos os dados em que o coeficiente de variação ultrapassou 30% foi realizado transformação destes dados através de $\sqrt{X+\alpha}$, em que alfa = 0,05, conforme Banzato e Kronka (1992).

3.13 Determinação do CUC

Para cada parcela foram realizadas três repetições, com tempos de 20 minutos para cada uma, para obtenção dos dados. As mesmas foram realizadas para as pressões de serviço de 250 kPa e 300 kPa, previamente controladas por manômetro.

A uniformidade de distribuição de água por meio do CUC foi determinada pela equação 1 (CHRISTIANSEN, 1942).

$$\text{CUC} = 100 * \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{\sum_{i=1}^n x_i} \right)$$

Equação (1)

Em que:

CUC – Coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

x - precipitação média dos pluviômetros (ml);

xi - precipitação observada em cada pluviômetro (ml);

n – número de amostras coletadas.

Para o procedimento de coleta dos dados de campo seguiu-se o itinerário técnico abaixo descrito:

- Escolha dos emissores a serem avaliados;

- Montagem da malha de coletores (geralmente espaçados de 3 x 3m sob suportes);
- Funcionamento do sistema de irrigação (20 min para cada repetição);
- Checagem das pressões de serviço no bombeamento e nos aspersores;
- Medição da vazão do aspersor.

A uniformidade de aplicação de água afeta diretamente a lâmina bruta de irrigação, pois esta é a parte da eficiência de irrigação. Assim, quanto maior a uniformidade, menor será a lâmina necessária para se atingir a mesma produtividade.

A malha de coletores foi montada com os mesmos espaçados de 3 m x 3 m sob suportes de alumínio a aproximadamente 0,60 m do solo, como mostrado na Figura 10.

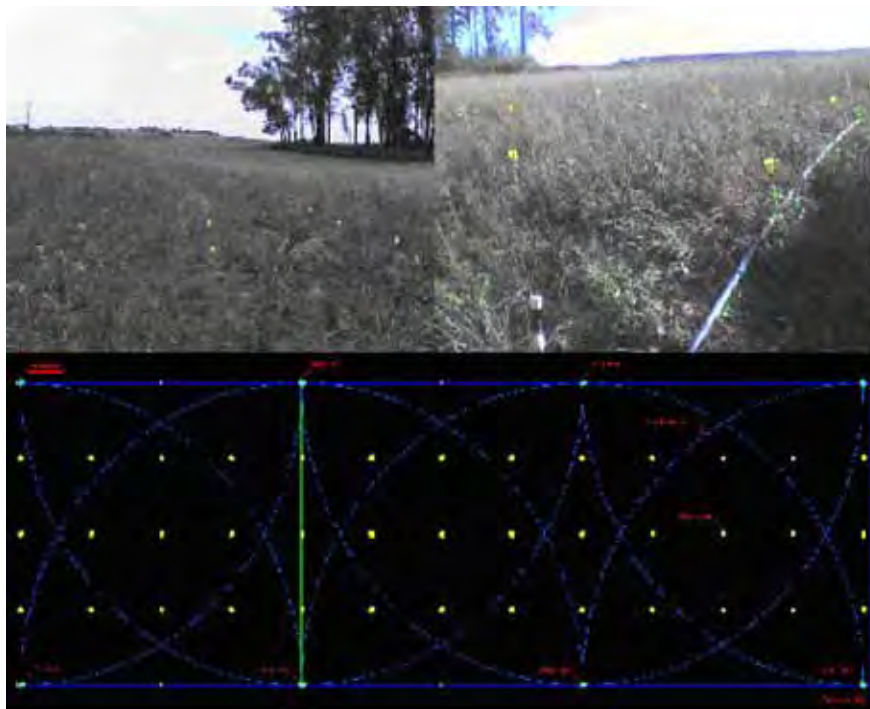


Figura 10: Malha de coletores.

3.14 Cálculo da pressão na saída dos aspersores

De acordo com Bernardo et al. (2005), para a determinação da perda de carga ocorrida ao longo da tubulação, a fim de obter a pressão de saída do aspersor, utiliza-se a equação de Bernoulli (2), descrita a seguir:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_f \quad \text{Equação (2)}$$

Como o diâmetro da tubulação é constante, considerou-se também a velocidade como constante para cada trecho. Portanto foi utilizada a seguinte equação 3:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + H_f \quad \text{Equação (3)}$$

Em que:

P1 - Pressão conhecida no primeiro ponto (KPa);

Z1 - Cota do primeiro ponto (mca);

P2 - Pressão a ser determinada (KPa);

Z2 - Cota do ponto o qual a pressão será determinada (mca);

Hf - perda de carga no trecho avaliado (mca).

Para a determinação das perdas de carga, foram determinados os pontos a serem avaliados, conforme a Figura 11.

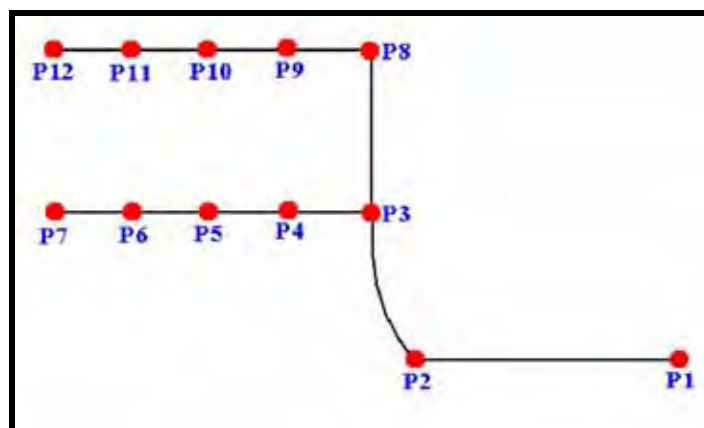


Figura 11: Croqui representativo da distribuição dos pontos avaliados.

3.15 Análise de crescimento

Após a emergência da cultura foram realizadas três coletas de dados, aos 15, 30, 45 e 60 dias após a emergência e determinados os seguintes parâmetros: altura de planta, massa verde, massa seca e área foliar. Para altura de planta foram analisadas dez plantas por repetição, já para massa verde, massa seca e área foliar foram coletadas cinco plantas por repetição devido ao tamanho da estufa e espaço físico para determinação dos mesmos. No estágio de floração foi determinado o teor de NPK na folha.

3.16 Estatura de planta

Foram realizadas coletas aos 15, 30, 45 e 60 DAE (dias após a emergência) em dez plantas aleatórias, por parcela, totalizando 30 plantas por tratamento, onde foi determinada a altura de cada planta (distância compreendida entre a superfície do solo e o ápice da haste principal da planta), de acordo com metodologia descrita por Hamada (1993). Os resultados foram expressos em centímetros (cm).

3.17 Massa fresca

Foram realizadas coletas aos 15, 30, 45 e 60 DAE, de cinco plantas aleatórias, por repetição, totalizando quinze plantas por tratamento, pesadas em balanças de precisão (0,001 g), onde foi determinada a massa fresca em gramas (g), de acordo com metodologia descrita por Hamada (1993).

3.18 Massa seca

Foram realizadas coletas aos 15, 30, 45 e 60 DAE de cinco plantas aleatórias, por repetição, totalizando quinze plantas por tratamento, pesadas em balanças de precisão (0,001 g). Após a pesagem, as plantas foram seccionadas e acondicionadas em sacos de papel devidamente etiquetados e colocados para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até massa constante, onde foi determinada a massa seca, conforme metodologia descrita por Hamada (1993).

3.19 Área foliar

Foram realizadas coletas aos 15, 30, 45 e 60 DAE, de cinco plantas aleatórias, por repetição, totalizando quinze plantas por tratamento. Após a coleta, as plantas foram seccionadas, separando as folhas do restante da planta. Com a utilização de papel milimetrado foi determinado a área foliar, conforme metodologia descrita por Hamada (1993).

3.20 Análise foliar

Foram coletadas três plantas da linha central de cada repetição, totalizando nove plantas por tratamento, onde foi realizada a análise de NPK na folha. A metodologia utilizada foi descrita em EMBRAPA (1999), para determinar os seguintes parâmetros:

- Nitrogênio total: obtido pelo método de Kjeldahl;

- Fósforo: determinado pela colorimetria do azul de molibdênio;
- Potássio: aspirado da solução aquosa pelo fotômetro de chama ar-GLP e as energias emitidas por esses elementos proporcionam as suas concentrações.

3.21 Produtividade

Foi realizada coleta aos 105 DAE de dez plantas aleatórias, por repetição, totalizando trinta plantas por tratamento. Após a coleta, as plantas foram trilhadas, separando os grãos do restante da planta, pesados e acondicionados em sacos de papel devidamente etiquetados; em seguida foi estimada a produtividade, expressa em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados para a pressão de serviço de 250 kPa

4.1.1 Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC)

A Tabela 8 representa a uniformidade de distribuição de água para a pressão de serviço de 250 kPa.

Tabela 8: Valores de CUC encontrados para as parcelas P1, P2 e P3, e suas respectivas repetições para a pressão de serviço de 250 kPa.

Pressão	Parcela 01 (mL)			Parcela 02 (mL)			Parcela 03 (mL)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
	250 Kpa	250 Kpa	250 Kpa	250 Kpa	250 Kpa	250 Kpa	250 Kpa	250 Kpa	250 Kpa
Coletor 1	21	17	15	20	24	24	24	28	26
Coletor 2	16	12	14	24	20	18	24	26	24
Coletor 3	29	16	20	18	11	6	25	25	26
Coletor 4	23	16	20	20	25	26	22	22	28
Coletor 5	18	18	19	20	15	17	20	18	21
Coletor 6	23	18	27	18	8	7	18	18	22
Coletor 7	29	22	17	22	34	28	27	28	26
Coletor 8	17	18	27	26	24	16	34	31	36
Coletor 9	23	27	30	22	21	20	30	29	28
Coletor 10	31	16	14	30	34	27	34	34	34
Coletor 11	14	20	26	24	24	19	38	39	36
Coletor 12	8	25	22	22	22	20	24	27	26
Coletor 13	23	12	15	20	24	22	30	32	26
Coletor 14	13	18	18	18	18	18	32	30	30
Coletor 15	6	15	13	22	14	11	24	20	22
CUC (%)	69,25	83,7	77,51	88,88	73,96	73,33	82,46	83,33	86,57

*Onde “R” são as repetições realizadas.

Na Figura 12 estão apresentados os valores percentuais médios do CUC, para as parcelas P1, P2 e P3, obtidos através de três repetições, para cada uma das parcelas avaliadas.

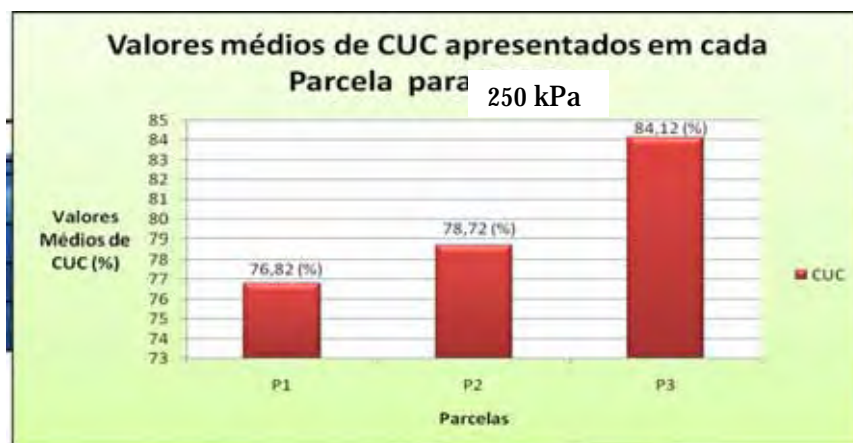


Figura 12: Coeficientes médios de uniformidades para as parcelas P1, P2 e P3, pressão de 250 kPa.

A avaliação do sistema pelo CUC, utilizando água residuária da suinocultura para todas as parcelas, apresentou dados superiores a 75% de eficiência, valores próximos aos encontrados por Merriam e Keller (1978), os quais afirmam que, para culturas com sistema radicular médio, o CUC pode variar entre 80 e 88%, e para culturas com sistema radicular profundo, pode variar entre 70 e 80%. Tendo em vista que a cultura plantada na área avaliada é o milho, e a mesma é considerada cultura de sistema radicular médio-profundo, o CUC apresentado mostra que o sistema de irrigação por aspersão está operando com eficiência aceitável.

4.1.2 Influência do vento na coleta dos dados

Trabalhos de pesquisa têm demonstrado que o aumento da velocidade do vento provoca a diminuição da uniformidade de distribuição de água, como resultado da distorção do perfil de aplicação de água e da redução da área coberta pelo aspersor, e, conseqüentemente, pela diminuição da sobreposição dos jatos de água (RIBEIRO, 1982 *apud* MACHADO, 2006).

Durante a coleta dos dados houve influência da declividade do terreno e das condições locais do vento (Figura 13) na uniformidade de distribuição da ARS, como já foi observado por Ribeiro (1982) *apud* Machado (2006).

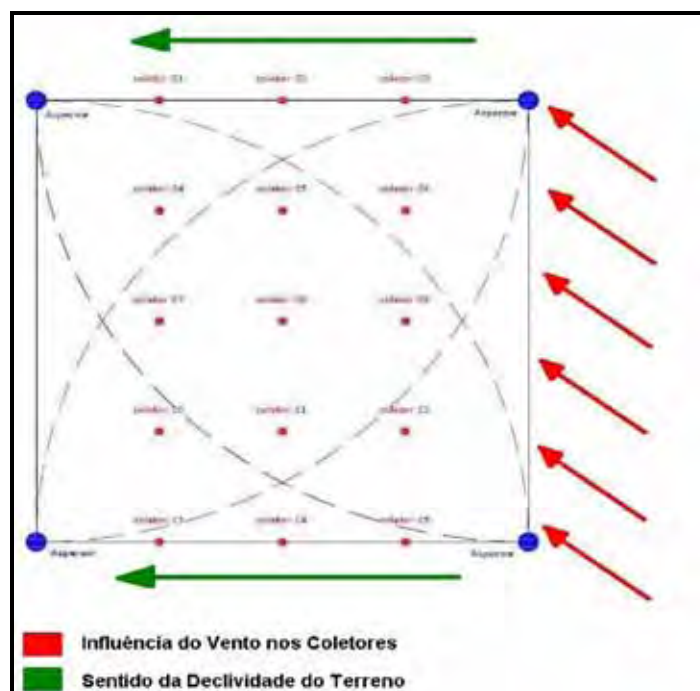


Figura 13: Influência do vento e declividade do terreno na coleta dos dados.

Na Figura 14 pode-se observar a direção do vento e a localização dos quebra-ventos na área do experimento.



Figura 14: Influência do vento na uniformidade de distribuição.

Tal distorção do perfil nas Figuras 15, 16 e 17 mostram a lâmina média coletada em função do espaçamento entre os aspersores para a pressão de 250 kPa.

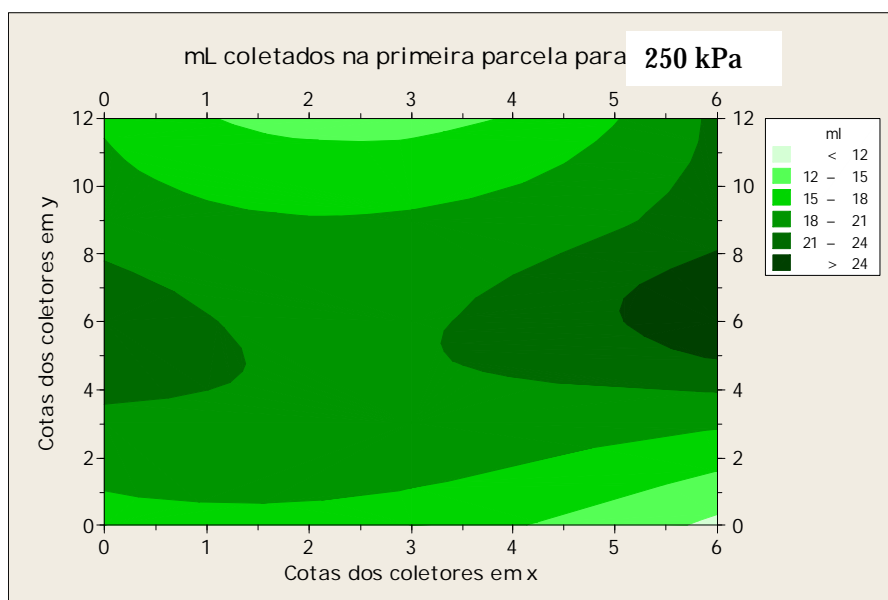


Figura 15: Lâmina média coletada em função do espaçamento entre aspersores e influência do vento para a parcela P1.

Na Figura 15, correspondente a primeira parcela avaliada, pode-se observar menor influência do vento na uniformidade de distribuição de água. Isso ocorreu devido a presença de quebra-vento, já observado na Figura 14. Nas Figuras 16 e 17 correspondentes as parcelas P2 e P3, respectivamente, pode-se observar uma maior influência do vento, pois as mesmas localizavam-se distantes do quebra-vento, corroborando com Ribeiro (1982) *apud* Machado (2006), que mencionam que o vento é o fator climático responsável pelas maiores variações na uniformidade e na eficiência de aplicação da água, sob irrigação por aspersão.

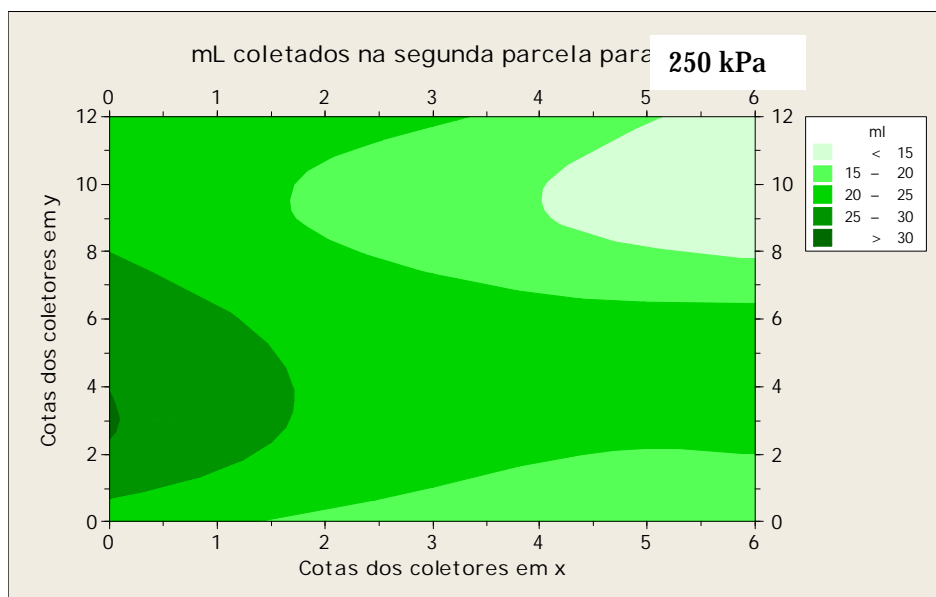


Figura 16: Lâmina média coletada em função do espaçamento entre aspersores e influência do vento para a parcela P2.

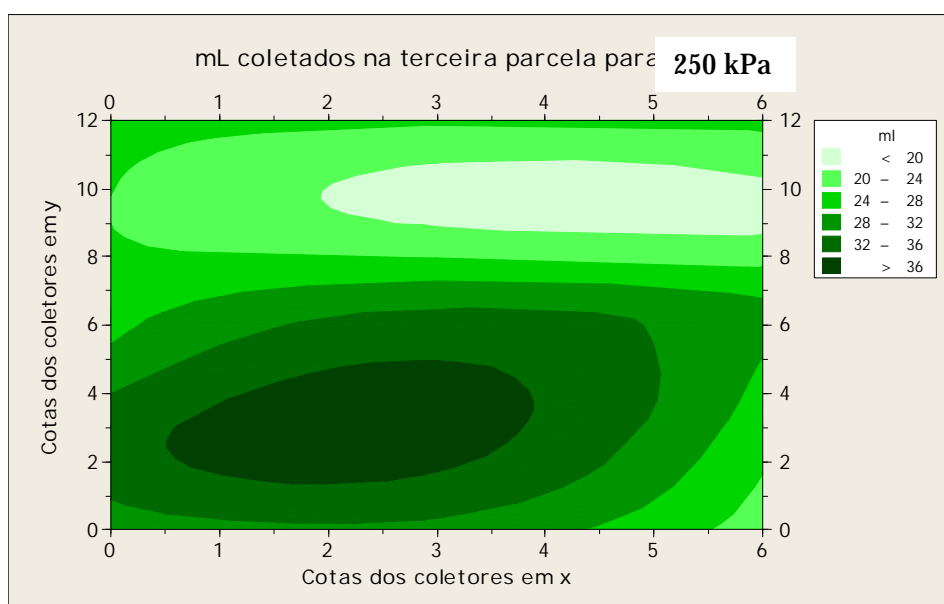


Figura 17: Lâmina média coletada em função do espaçamento entre aspersores e influência do vento para a parcela P3.

4.1.3 Influência da pressão na uniformidade de distribuição de água

Para 250 kPa, observou-se uma redução dessa pressão ao longo das linhas principais e laterais do sistema, ou seja, redução na pressão de saída dos aspersores, como mostra a Figura 18.



Figura 18: Redução da pressão ao longo das linhas principais e laterais para 250 kPa.

Essa redução não diminuiu, no entanto, a eficiência de irrigação aumentou conforme ocorreu a redução da pressão de serviço, como mostra a Figura 19.



Figura 19: Valores médios de CUC em função da pressão média dos aspersores correspondentes às parcelas avaliadas para 250 kPa.

4.2 Resultados para a pressão de serviço de 300 kPa

4.2.1 Coeficiente de uniformidade de Christiansen

A Tabela 9 representa o comportamento das repetições e das parcelas em relação à uniformidade de distribuição de água para a pressão de serviço de 300 kPa.

Tabela 9: Valores de CUC encontrados para Parcela P1, P2 e P3, e suas respectivas repetições para a pressão de serviço de 300 kPa.

	Parcela 01 (mL)			Parcela 02 (mL)			Parcela 03 (mL)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Pressão	300 KPa	300 KPa	300 KPa	300 KPa	300 KPa	300 KPa	300 KPa	300 KPa	300 KPa
Coletor 1	30	18	15	25	27	23	26	28	27
Coletor 2	27	16	14	21	26	20	23	26	25
Coletor 3	24	20	21	15	17	15	28	27	27
Coletor 4	22	18	19	26	25	22	28	26	32
Coletor 5	16	20	18	15	17	17	22	27	23
Coletor 6	20	23	23	9	8	10	26	31	24
Coletor 7	28	22	15	29	30	29	33	33	30
Coletor 8	24	25	19	19	22	22	39	36	37
Coletor 9	24	27	28	18	20	16	35	31	32
Coletor 10	34	14	13	30	40	29	36	41	40
Coletor 11	24	22	23	23	28	23	36	39	38
Coletor 12	14	22	24	26	27	19	25	28	26
Coletor 13	20	10	11	28	30	22	27	30	30
Coletor 14	16	18	23	20	20	20	28	31	32
Coletor 15	10	17	20	17	16	19	22	23	22
CUC(%)	77,54	82,69	80,05	76,82	74,66	82,22	84,18	87,43	84,87

Onde “R” são as repetições realizadas.

Na Figura 20 observa-se os valores percentuais médios do CUC, para as parcelas P1, P2 e P3, obtidos através de três repetições, para cada uma das parcelas avaliadas.

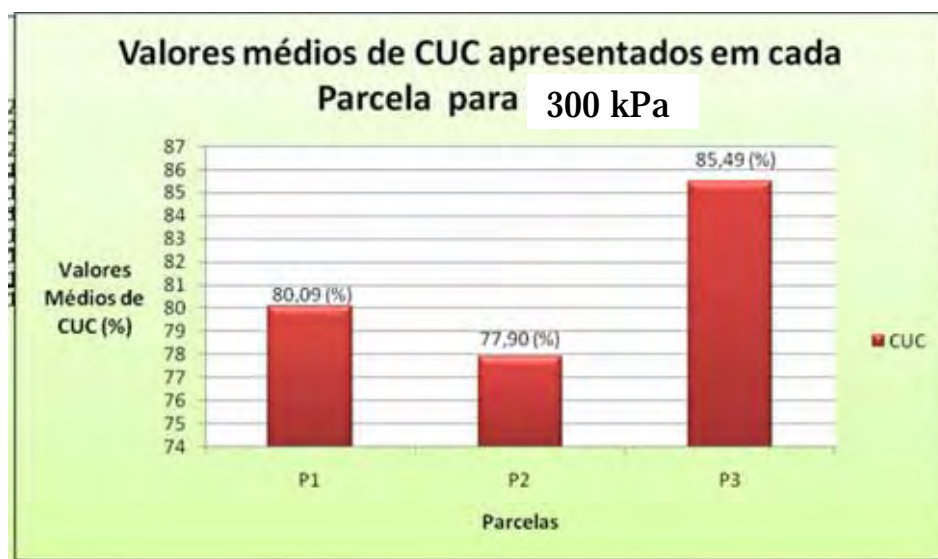


Figura 20: Coeficientes médios de uniformidades para as parcelas P1, P2 e P3, pressão de 300 kPa.

Para a pressão de serviço de 300 kPa, a avaliação do sistema pelo CUC, utilizando água residuária da suinocultura para todas as parcelas, apresentou dados superiores a 78% de eficiência, valores próximos aos observados por Merrian e Keller (1978), e superiores aos encontrados na pressão de serviço de 250 kPa.

4.2.2 Influência do vento na coleta dos dados

Assim como para a pressão de 250 kPa, o vento também influenciou na coleta de dados para a pressão de 300 kPa. Pode-se observar tal distorção do perfil nas figuras 21, 22 e 23 que mostram a lâmina coletada em função do espaçamento entre aspersores para a pressão de 300 kPa.

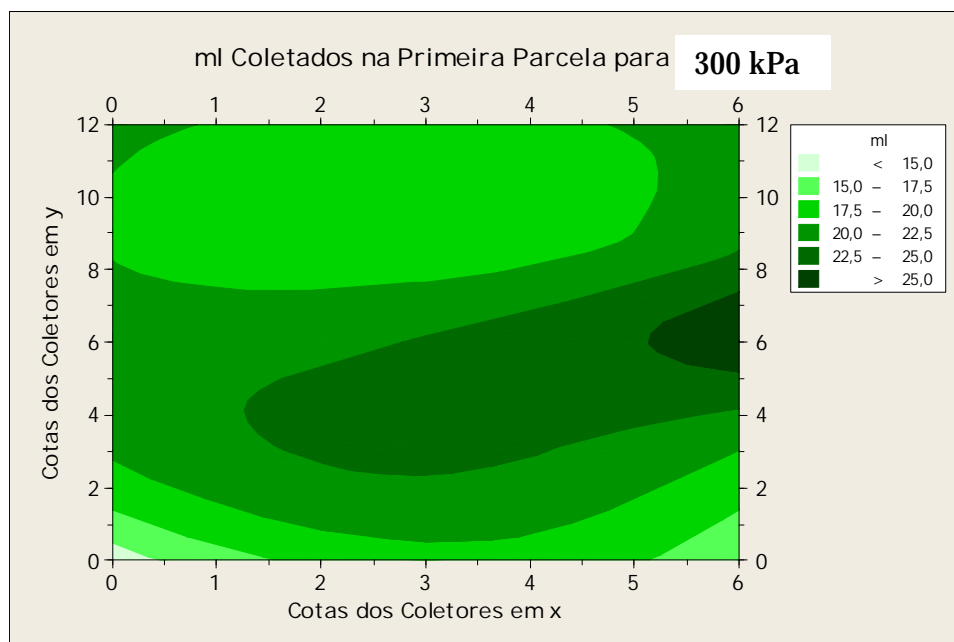


Figura 21: Lâmina média coletada em função do espaçamento entre aspersores e influência do vento para a parcela P1.

Na Figura 21, correspondente a primeira parcela avaliada, pode-se observar menor influência do vento na uniformidade de distribuição de água. Isso ocorreu devido a presença de quebra-vento, já observado na Figura 20. Já nas Figuras 22 e 23, correspondentes as parcelas P2 e P3, respectivamente, pode-se observar uma maior influência do vento, pois as mesmas localizavam-se distantes do quebra-vento.

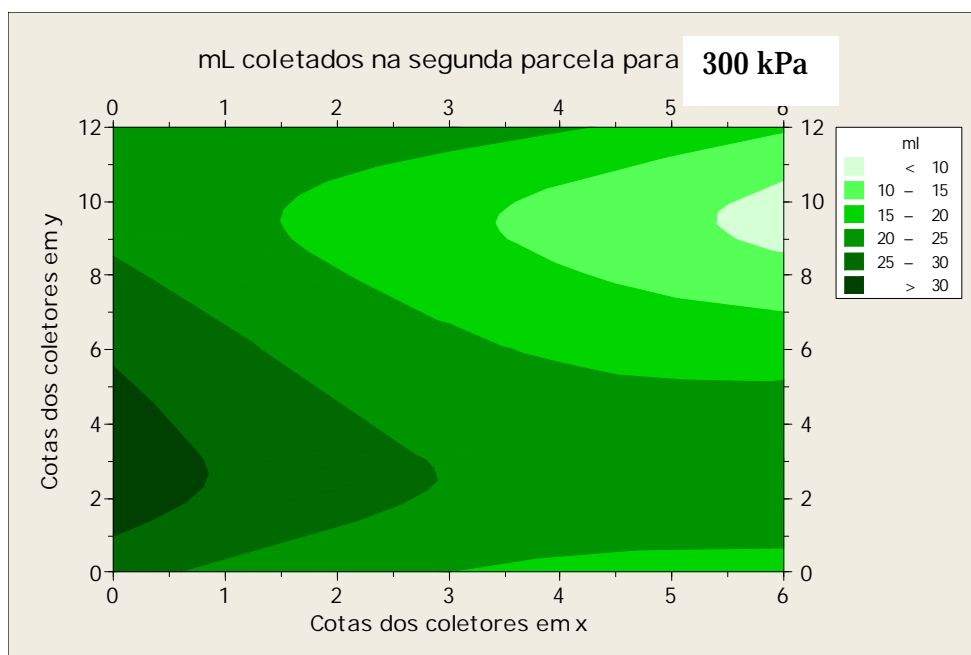


Figura 22: Lâmina média coletada em função do espaçamento entre aspersores e influência do vento para a parcela P2.

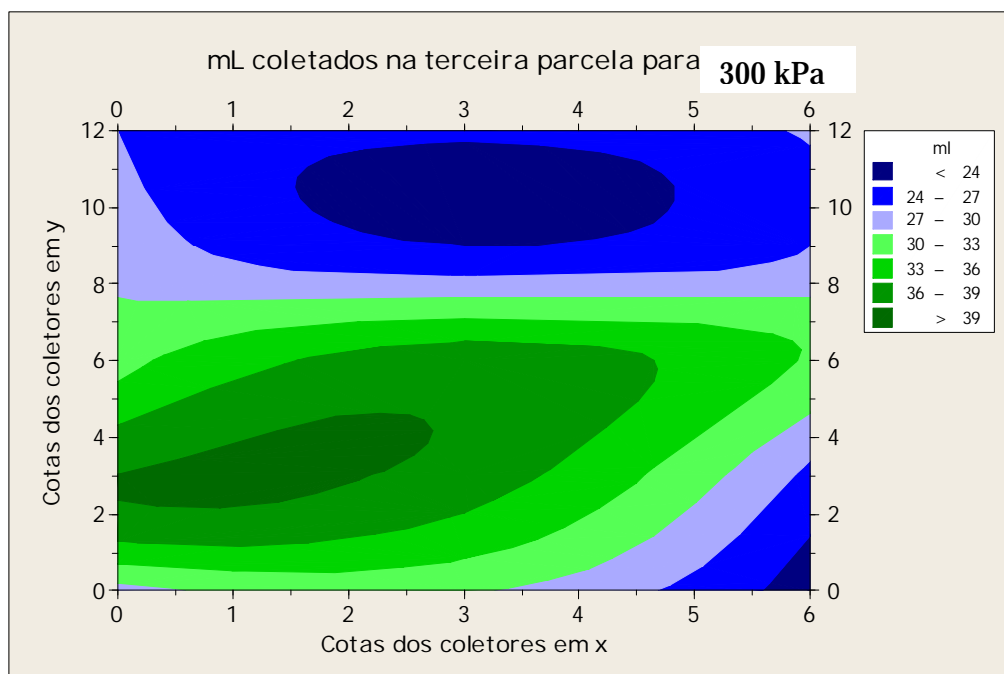


Figura 23: Lâmina média coletada em função do espaçamento entre aspersores e influência do vento para a parcela P3.

4.2.3 Influência da pressão na uniformidade de distribuição de água

A uniformidade de distribuição de água foi avaliada para as pressões de serviço de 250 e 300 kPa, previamente controladas pelo manômetro. Para 300 kPa, observou-se uma redução dessa pressão ao longo das linhas principais e laterais do sistema, conforme a Figura 24.

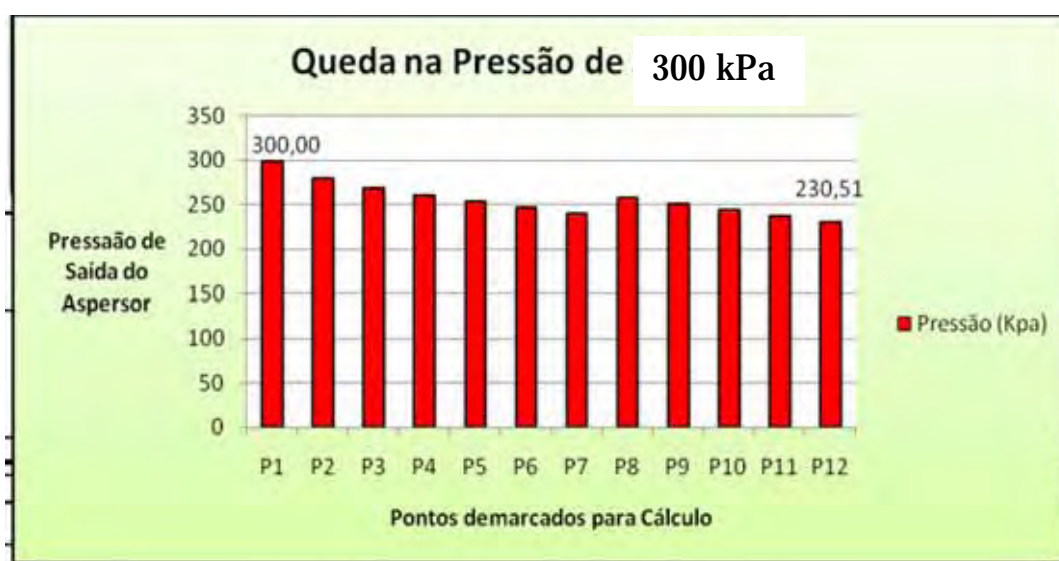


Figura 24: Redução da pressão ao longo das linhas principais e laterais para 300kPa.

Assim como para a pressão de 250 kPa, essa redução não diminuiu a eficiência de irrigação, ao contrário, conforme ocorreu a redução da pressão de serviço, a uniformidade aumentou, como pode-se observar na figura 25.

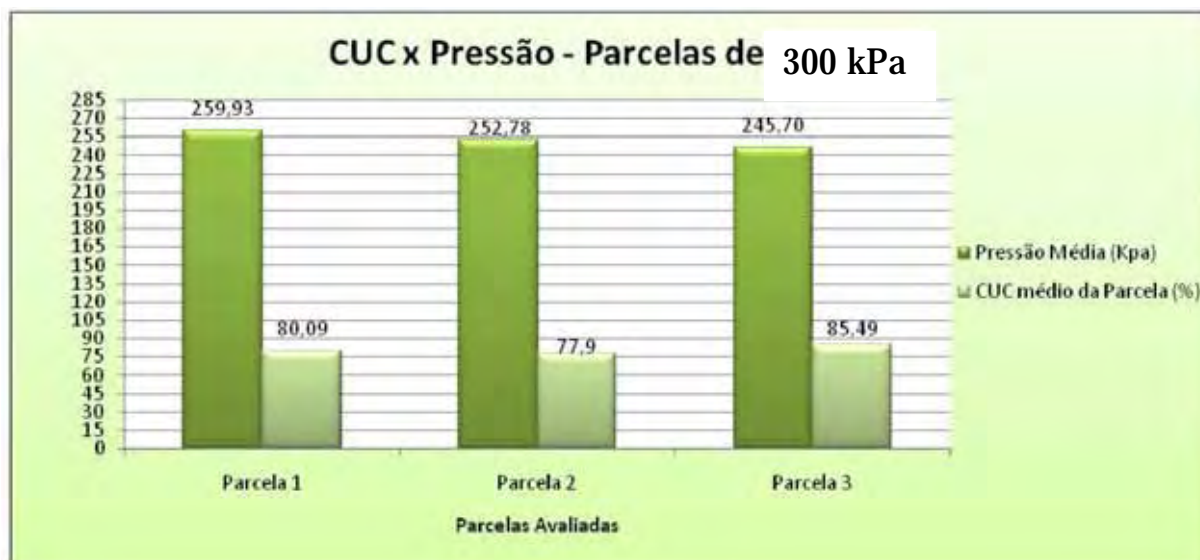


Figura 25: Valores médios de CUC em função da pressão média dos aspersores correspondentes às parcelas avaliadas.

4.3 Estatura de plantas

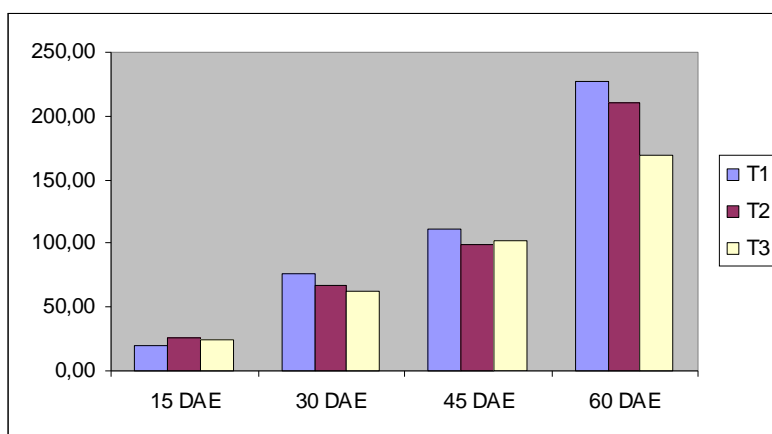
Os dados obtidos no experimento para a estatura de plantas (cm) são representados na Figura 26. Foram encontradas diferenças estatísticas significativas, entre os tratamentos, nas leituras de 15, 30 e 60 DAE.

Kalil (1992) e Junchen (2000) não encontraram diferenças para estatura de planta de alface quando irrigadas com água residuária e com água potável, porém, Chateaubriand (1988), aplicando ARS em irrigação por sulco na cultura do milho, obteve aumento na estatura de planta em 19% comparando a testemunha irrigada somente com água de abastecimento.

Já Gomes (1995) aplicando adubo orgânico na cultura do milho, Monte e Sousa (1992) e Vasquez e Montiel (1996) utilizando águas residuárias de lagoa facultativa na cultura do milho e sorgo e Freitas et al. (2004) utilizando ARS diluída a 50% irrigando milho, observaram ligeiro aumento nos valores de estatura de planta.

O tratamento com ARS influenciou nos valores médios de estatura de plantas a partir dos 30 DAE, seguido do tratamento com água como pode ser observado na

Figura 26. Para Hamada (1993) o desenvolvimento vertical da planta não é uniforme, mesmo com aplicação de água residuária.



T1 = ARS, T2 = água, T3 = sequeiro

Figura 26: Estatura de plantas (cm) para os tratamentos.

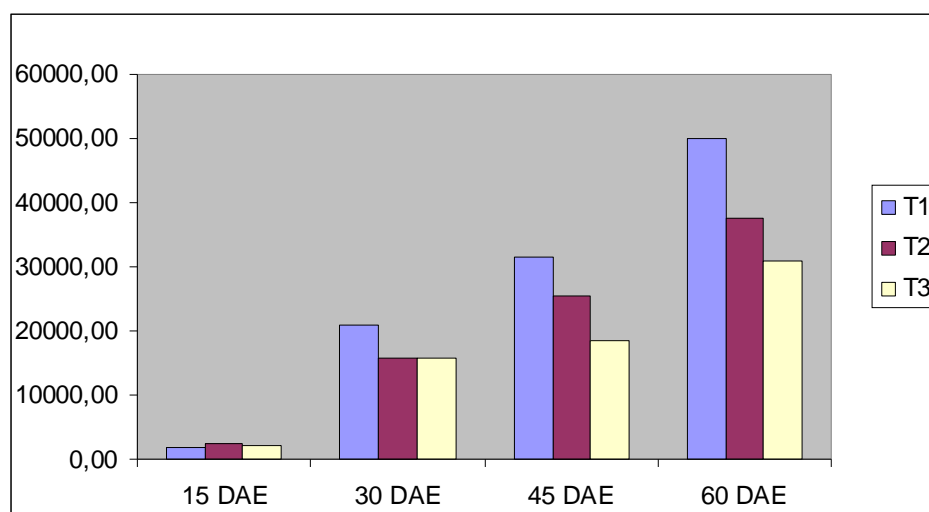
O tratamento T1 apresentou as maiores estaturas de plantas a partir dos 30 DAE, sendo que a estatura máxima atingida pelas plantas foi de 226,60 cm aos 60 DAE. Os valores encontrados para T2 e T3 foram menores, possivelmente, devido a menor quantidade de nutrientes disponível as plantas.

4.4 Massa fresca

Na Figura 27 são apresentados os valores médios para o teor de massa fresca obtido no experimento a 15, 30, 45 e 60 DAE. Pode-se observar que não houve diferenças estatísticas significativas ($p \geq 0,05$) entre os tratamentos, nas leituras realizadas a 15 e 30 DAE. Comparando os resultados de massa fresca com estatura de plantas verifica-se que os tratamentos apresentaram comportamentos semelhantes principalmente a partir dos 45 DAE. Os resultados de massa fresca mostraram que os tratamentos T1 e T2 apresentaram, numericamente, os melhores resultados, seguido pelo tratamento T3, após os 45 dias da emergência.

Chateaubriand (1988) aplicando ARS em irrigação por sulco na cultura do milho obteve incremento de 40% na massa fresca comparado a testemunha irrigada somente com água; Gomes Filho et al.(2001) utilizando ARS em aveia forrageira obteve aumento de 5% na massa fresca em relação ao tratamento irrigado somente com água; Monte e Sousa (1992) e Vasquez e Montiel (1996), utilizando águas residuárias de lagoa facultativa na cultura do milho e sorgo, observaram pequeno aumento na massa fresca e Freitas et al. (2004) utilizando ARS diluída a 50% irrigando milho, obtiveram incremento de 50% na massa fresca, em relação ao tratamento irrigado somente com água de abastecimento. Junchen (2000) e Baumgartner (2003) obtiveram diferenças significativas na massa fresca, ao contrário dos autores citados anteriormente, ocorreu diminuição nos valores de massa fresca nos tratamentos fertirrigados em relação ao irrigado somente com água; ainda segundo os mesmos autores, diferentes águas residuárias possuem diferentes características e por isso expressam diferentes resultados.

O resultado médio para o tratamento T1 é justificado pelo período de floração da planta (60 DAE), pois neste estágio de desenvolvimento ocorre a maior absorção de nutrientes pela planta.

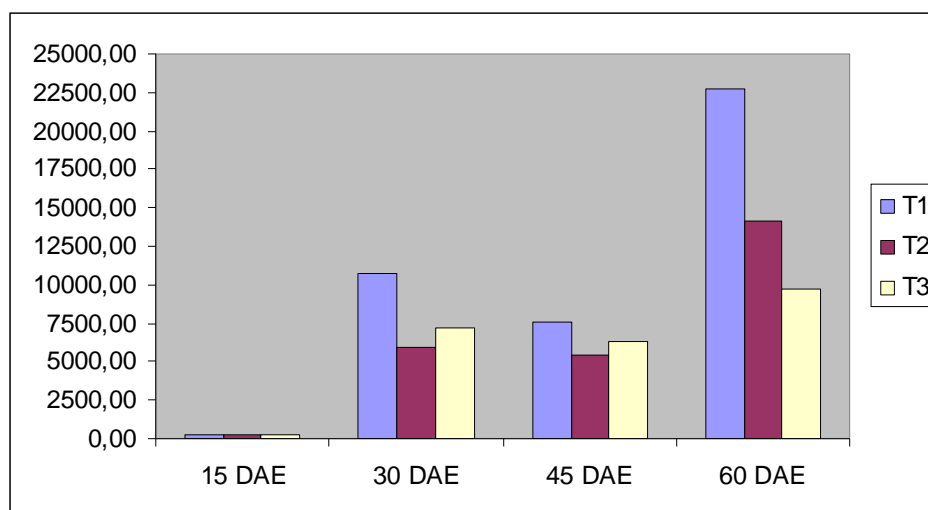


T1 = ARS, T2 = água, T3 = sequeiro

Figura 27: Massa fresca (kg . ha⁻¹) para os tratamentos.

4.5 Massa seca

Na Figura 28 são apresentados os valores de massa seca (g) em função dos tratamentos. As leituras foram realizadas aos 15, 30, 45 e 60 DAE.



T1 = ARS, T2 = água, T3 = sequeiro

Figura 28: Massa seca (kg . ha⁻¹.) para os tratamentos.

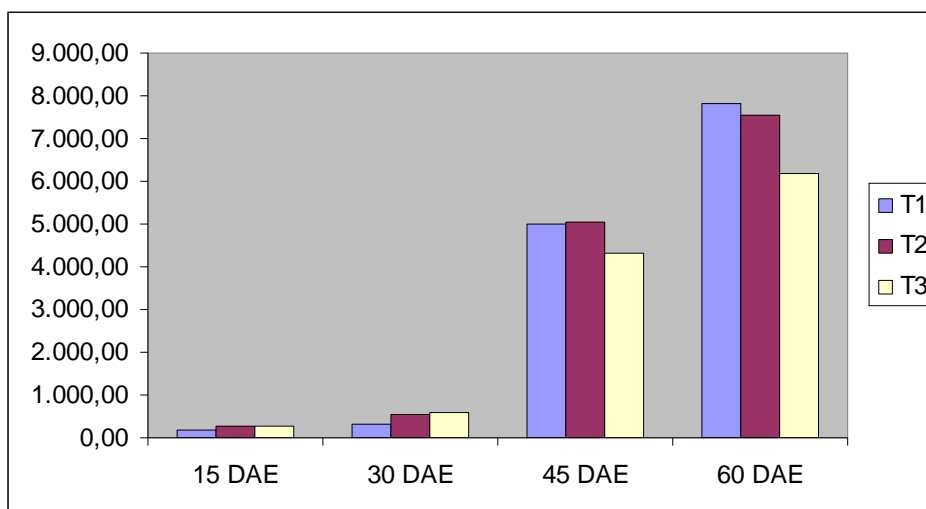
A análise de variância aplicada a massa seca (kg/ha) mostrou que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) para os 15 e 45 DAE. Os maiores valores médios encontrados para a massa seca (kg/ha) foram verificados no tratamento T1, seguidos dos tratamentos T2 e T3. Chateaubriand (1988) aplicando ARS em irrigação por sulco na cultura do milho, Gomes Filho *et al.* (2001) utilizando ARS em aveia forrageira, Monte e Sousa (1992) e Vasquez e Montiel (1996) utilizando águas residuárias de lagoa facultativa na cultura do milho e sorgo e Freitas *et al.* (2004) utilizando ARS diluída a 50% irrigando milho, obtiveram maiores valores de massa seca em relação aos tratamentos irrigados somente com água. Junchen (2000) e Baumgartner (2003) obtiveram diferenças significativas na massa seca, ao contrário dos autores citados anteriormente, ocorrendo diminuição nos valores de massa seca nos tratamentos fertirrigados em relação ao irrigado somente com água.

O tratamento T1 proporcionou à planta maior acúmulo de massa seca, já que a disponibilidade de nutrientes era maior que em T2 e T3 devido a presença em maior quantidade de nutrientes disponíveis a planta pela utilização de água residuária..

4.6 Área foliar

Na Figura 29 são apresentados os valores de área foliar (cm^2) para os quatro tratamentos, os valores do teste F para o parâmetro foram significativos ($p > 0,05$) para as três leituras na cultura do milho.

Os parâmetros estudados indicam que (Figuras 26, 27, 28 e 29), o tratamento T1 foi melhor numericamente que os demais tratamentos, para todos os parâmetros após os 15 DAE. Isto pode ter ocorrido em virtude do tempo de resposta para que a dose aplicada de ARS agisse sobre a cultura. Para a estatura de planta (cm), o tratamento T1 (ARS) apresentou os maiores resultados, tanto para 30, 45 e 60 dias após a emergência (DAE), entretanto, aos 30 e 45 dias da emergência, isto não ocorreu para o parâmetro área foliar (cm^2), onde o tratamento T2 (água) foi o que apresentou melhor resultado. Aos 60 DAE, os tratamentos T1 e T2 apresentaram os melhores resultados para massa fresca (kg/ha) e massa seca (kg/ha) que os demais tratamentos; o mesmo foi verificado para a estatura de planta (cm), onde os tratamentos T1 e T2 foram numericamente maiores que os demais, respectivamente. Para área foliar (cm^2), aos 60 DAE, os tratamentos T1 e T2 foram os que apresentaram os valores mais altos, como já havia sido observado na massa fresca e massa seca. Chateaubriand (1988) fertirrigando a cultura do milho com ARS, Gomes Filho *et al.* (2001) utilizando ARS em aveia forrageira, Monte e Sousa (1992), Vasquez e Montiel (1996) utilizando águas residuárias de lagoa facultativa na cultura do milho e sorgo e Freitas *et al.* (2004) utilizando ARS diluída a 50% irrigando milho, obtiveram aumentos significativos na área foliar, provavelmente pelas diferentes ARS utilizadas, sejam concentradas ou diluídas e as culturas utilizadas, na sua maioria gramíneas, como já descrito anteriormente, respondem de modo diferente à aplicação de ARS.



T1 = ARS, T2 = água, T3 = sequeiro

Figura 29: Área foliar (cm²) para os tratamentos.

4.7 Análise foliar

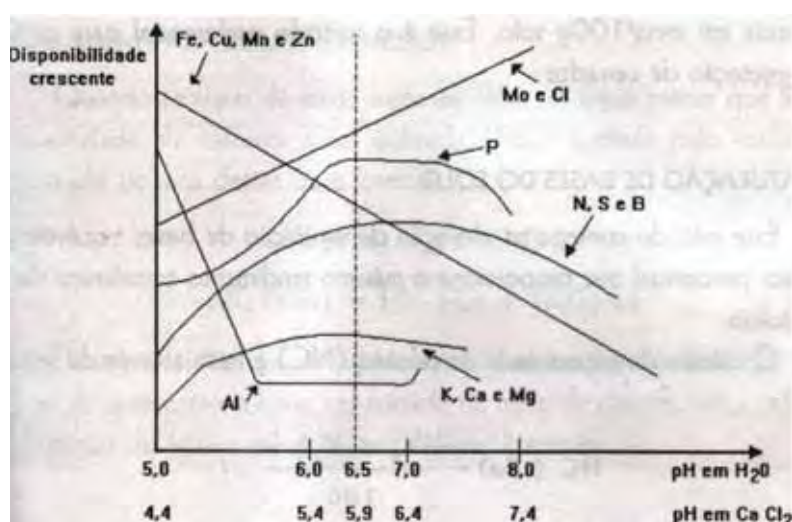
A análise de variância aplicada para os elementos N, P e K após os 45 DAE, mostrou que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) para o P, entretanto, para o N e K a análise mostrou-se significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Cerezo *et al.* (1995) não encontraram diferenças significativas sobre o conteúdo foliar de NPK em relação à testemunha, quando trabalharam com laranjeiras jovens sob irrigação com efluente bruto, durante três anos.

Tabela 10: Valores médios para teores de NPK na folha após os 45 dias da emergência (DAE) de milho.

Tratamentos	Fósforo (g kg ⁻¹)	Nitrogênio (g kg ⁻¹)	Potássio (g kg ⁻¹)
T1	2,09 A	23,25 A	26,33 A
T2	2,38 A	25,43 A	21,00 A
T3	2,37 A	26,97 A	22,33 A
Média Geral	2,28	25,21	23,22
CV (%)	7,7	8,41	21,33
Interpretação (g kg ⁻¹)*	2,0 – 4,0	27 - 35	17 - 35

Nota: Letras maiúsculas iguais na coluna indicam que não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1 = ARS; T2 = água; T3 = sequeiro. * = Valores determinados pela EMBRAPA (1999).

Os valores médios de P e N para todos os tratamentos estão muito próximos dos valores mínimos determinados pela EMBRAPA (1999) (Tabela 10). Saraiva (2004) fertirrigando a cultura do milho com manipuera que também encontrou valores de P abaixo ou próximos do mínimo recomendado para a cultura do milho, possivelmente ocasionado pela baixa mobilidade do elemento e a concorrência com outros nutrientes existentes nas ARS o que pode ter ocasionado a inibição da retirada do mesmo pela cultura; também pode ter sido influenciado pelo pH, pois, quando se observam valores abaixo ou acima de 6,5 pode causar indisponibilidade de alguns elementos para a planta conforme apresentado na Figura 30 o que pode ser ocasionado pela utilização de ARS. O mesmo não foi verificado para o tratamento T3. O maior valor encontrado para o K foi no tratamento T1, decrescendo para os demais tratamentos. Isto pode ter ocorrido devido aos altos teores de Ca e Mg encontrados no solo, já que os mesmos competem no mesmo sítio de absorção, dificultando assim a extração de água e de outros nutrientes, como, por exemplo, o K, que é um dos responsáveis juntamente com o N, pelo crescimento da planta. Concordando com Lopes (1988) quando trabalhou com pimentão, verificando que a falta desses elementos causa desequilíbrio da parte área em relação a porção radicular, abortamento de flores e maiores sensibilidades a doenças.



Fonte: EMBRAPA (1999).

Figura 30: Relação entre o pH e a disponibilidade dos nutrientes no solo.

4.8 Produtividade

Na Figura 31 são apresentados os valores de produtividade ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) para os três tratamentos.

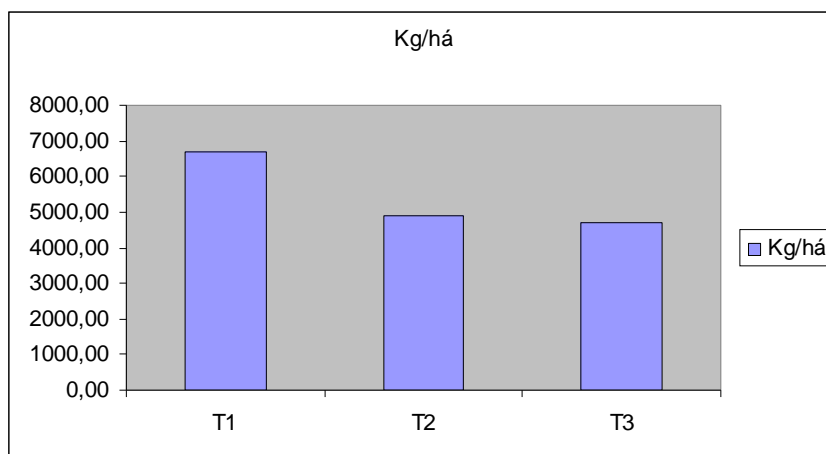


Figura 31: Produtividade ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) para os tratamentos.

Como pode ser observado na figura 31 o tratamento T1 e o T2 foram os que apresentaram os maiores valores de produtividade $6.714 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ e $4.891 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ respectivamente, seguido do tratamento T3 com $4.711 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, portanto, o tratamento que recebeu ARS foi o que obteve maior produtividade, cerca de 28% superior ao tratamento T2 e T3.

Tabela 11: Valores de precipitação acumulada a cada 15 dias período de 29 de fevereiro a 31 de maio..

Data	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação. Acumulada. dia (mm/dia)
29/2/08	15	0,75
01/3/08	0	0,5
15/3/08	33,25	0
31/3/08	49,25	0
01/4/08	0	0
15/4/08	94,5	0
30/4/08	200,5	29
01/5/08	0	0
15/5/08	14,25	0
31/5/08	33,25	0

Fonte: EPAGRI/CIRAM 2008

A diferença de produtividade entre o T2 e T3 provavelmente deve-se a baixa precipitação ocorrida no mês de maio de 2008 como pode ser observado na (tabela 11), já que o T3 não recebeu irrigação, já a diferença para T1 pode ter ocorrido em resposta aos nutrientes encontrados na ARS. Chateaubriand (1988) fertirrigando a cultura do milho com ARS, obteve um aumento na produtividade de cerca de 40% em relação à testemunha. Gomes Filho *et al.* (2001) utilizando ARS em aveia forrageira, obtiveram um produtividade 5% maior em relação a testemunha utilizando água de abastecimento

5 CONCLUSÃO

Os valores encontrados para o coeficiente de uniformidade ficaram dentro dos valores aceitáveis, ou seja, acima de 75% para sistema de irrigação por aspersão mesmo sofrendo influência do vento.

Para estatura de planta o tratamento T1 apresentou as maiores valores a partir dos 30 DAE, sendo que a estatura máxima atingida pelas plantas foi de 226,60 cm aos 60 DAE.

Os resultados de massa fresca mostraram que os tratamentos T1 e T2 apresentaram, numericamente, os melhores resultados, seguido pelo tratamento T3, após os 45 dias da emergência.

O tratamento T1 proporcionou à planta maior acúmulo de massa seca, já que a disponibilidade de nutrientes era maior que em T2 e T3.

Para área foliar (cm^2), aos 60 DAE, os tratamentos T1 e T2 foram os que apresentaram os valores mais altos, como já havia sido observado na massa fresca e massa seca.

Os valores médios de P e N para todos os tratamentos estão muito próximos dos valores mínimos determinados pela EMBRAPA (1999).

O maior valor encontrado para o K foi no tratamento T1, decrescendo para os demais tratamentos.

Para produtividade o tratamento T1 e o T2 foram os que apresentaram os maiores valores de produtividade $6.714 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ e $4.891 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ respectivamente, seguido do tratamento T3 com $4.711 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUMGARTNER, D. **Alface (*Lactuca sativa* L.) irrigada com águas residuárias provenientes de atividades agroindustriais**. 2003. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/ Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2003.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 5 ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989. 596 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 7 ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. 611p.
- BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF.
- BULISANI, E. A. **et al. Milho: fatores de produção e qualidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 326 p.
- CAVALCANTI, C. Política de governo para o desenvolvimento sustentável: uma
CEREZO, M.; LAPEÑA, L.; GARCIA-AUGUSTÍN, P. Desarrollo vegetativo de cítricos (*Citrus sinensis* L., Osbeck) regados com água residual urbana depurada. In: AVANCES EM LA INVESTIGACIÓN EM LA ZONA NO SATURADA. 1. 1995, Vitória-Gasteiz. **Anais...** Vitória-Gasteiz: Antiguiedad, Serviço Central de Publicação do Gobierno de Vasco, 1995.
- CHATEAUBRIAND, A. D. **Efeito de dejetos de suínos, aplicados em irrigação por sulco, na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1988. 61 f. Tese de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

- CHERNICHARO, C. A. DE L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2001. 544 p.
- CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942. 124 p.
- CORDEIRO-NETTO, O.; BARRAQUÉ, B. Evaluation des politiques publiques de l'environnement: aspects méthodologiques. In : **Etude pour le Groupe de Prospective du Ministère de l'Environnement**. Noisy-le-Grand : CERGRENE (ENPC-ENGREF) et LATTIS (ENPC-CNRS), 1991.
- CROOK, J. Critérios de qualidade da água para reuso. **Revista DAE**, São Paulo, n. 174, v. 53, nov-dez. 1993.
- DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E POLÍTICAS PÚBLICAS, 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Fundação Joaquim Nabuco, 2001. p. 21 - 40.
- EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja - Paraná - 2003**. Londrina: EMBRAPA, 2004. 218 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999. 412 p.
- FABRIMAR. Características técnicas do aspersor Eco A232, setembro de 2008. Rio de Janeiro: FABRIMAR. Disponível em: <http://www.fabrimar.com.br/produto_selecionado.asp?ref_produto=Eco&cat_produto=Irriga%E7%E3o> . Acesso em: 06 set. 2008.
- FEIGIN, A., RAVINA, I., SHALHEVET, J. **Irrigation whit treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlin: Springer, 1991. 224 p.
- FREITAS, W. S.; OLIVEIRA, R. A.; PINTO, F. A.; CECOM, P. R.; GAVÃO, J. C. Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura sobre a produção de milho para silagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.120-125, 2004.
- FRIGO, E. P. et al. Desempenho do sistema de gotejamento e de filtros utilizando água residuária da suinocultura. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, v. 11, n.3, p. 305 - 318, 2006.
- FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ - Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53 p.

GOOGLE EARTH. Google earth, 2008. Disponível em: <www.earth.google.com/intl/pt/>. Acesso em: 06 set. 2008.

GOMES FILHO, R. R.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D.; MARTINEZ.H. E. P. Remoção de carga orgânica e produtividade da aveia forrageira em cultivo hidropônico com águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.131-134, 2001.

GOMES FILHO, R.R. **Tratamento de águas residuárias da suinocultura utilizando o cultivo hidropônico de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) e aveia forrageira (*Avena strigosa*)**. 2000. 143 f. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

GOMES, J. A. **Efeito de adubações orgânica e mineral sobre a produtividade do milho e sobre algumas características físicas e químicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo**. 1995. 59 p. Tese de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

GONÇALVES, R.A.B.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M.; SOUZA, L.O.C. de, Diagnóstico da aplicação de águas residuárias da suinocultura na cafeicultura irrigada: avaliação da uniformidade de aplicação de água. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 402 - 414, jul – set. 2006.

GONZAGA NETO, L. Produtividade e competitividade dependem do aumento de hectares irrigados. **Revista dos Agrônomos**, São Paulo, v.3, n.1, p.14 - 20, 2000.

HAMADA, E. **Desenvolvimento e produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.) submetida a diferentes lâminas de água através da irrigação por gotejamento**. 1993. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

HESPANHOL, I. Esgotos como recurso hídrico. Parte I: dimensões políticas, institucionais, legais, econômico-financeiras e socioculturais. **Revista Engenharia**, São Paulo, n. 523, p. 45 – 58, 1997.

HESPANHOL, I. Guidelines and integrated measures for public health protection in agricultural reuse systems. **Journal Water STR – Aqua**, Genebra, v. 39, n. 4, p. 237-249, 1990.

IAPAR. FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **O milho no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1989. 303 p.

JUCHEN, C. R. **Reuso de efluentes tratados das agroindústrias de leite e carne sobre a produção de alface (*Lactuca sativa* L.) fertirrigada**. 2000. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2000.

KALIL, A. J. B. **Comparação entre a adubação nitrogenada via fertirrigação por gotejamento e a aplicação convencional na produtividade da alface**. 1992. 60 f. Tese de

Mestrado (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

KONZEN, E. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; BAHIA FILHO, A. F. C.; PEREIRA, F. A. **Manejo do esterco líquido de suínos e sua utilização na adubação do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA – CNPMS, 1997. 31 p.

LIMA, A.S. **Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central móvel**. 2003. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

LOPES, D.C.; ALVARENGA, J.C.; DONZELE, J.L.; FONTES, R.A. Perda de peso e mudanças na composição química do milho (*Zea mays* L.) devido ao carunchamento. **Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 17, n. 4, p. 367-371, 1988.

MACHADO, H. R. **Avaliação da uniformidade de irrigação em sistema de irrigação pivô central usando técnicas de controle de qualidade**. 2006. 35 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

MANEDOV, A. I.; SHAINBERG, I.; LEVY, G.J. Irrigation with effluents of prewetting rate clay content on runoff and soil loss. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 30, n. 6, p. 2149 - 2156, 2001.

MATZENAUER, R. **Modelos agrometeorológicos para estimativa da produtividade de milho em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul**. 1994. 172 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; RIBOLDI, J. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 3, p. 85 - 92, 1995.

MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C. Relação entre rendimento de grãos e altura de chuva em diferentes períodos de desenvolvimento do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5., 1987, Belém. **Coletânea de trabalhos**. Belém: SBA, 1987. p. 3 - 6.

MENDONÇA, C. F. et. al. Aspectos técnicos relacionados aos sistemas de irrigação com esgotos sanitários. In: BASTOS, R. K. X. (Org.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES, 2003, p. 116-154.

MERRIAN, J.L.; KELLER, J. **Irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cenário futuro do negócio agrícola de Minas Gerais**. Belo Horizonte: ASCP/EPAMIG, 1995. v. 13, 36 p.

MONTE, H. M.; SOUSA, M. S. Effects on crops of irrigation with facultative pond effluent. **Water Science Technology**, Londres, v. 26, n 7 - 8, p. 1603 - 1613, 1992.

MOYNAHAN, M. D. **The use of sprinkler profiles to predict field performance**. 1972. 79 f. Masters Dissertation. Logan Utah.

NOGUEIRA, L.C., SOUZA, F. Avaliação de dois sistemas de irrigação por aspersão II – análise da uniformidade de distribuição. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21., 1987, Jundiaí. **Anais...** Jundiaí, 1987. v. 1, p. 139-148.

NUNES, R. P.; PITOMBEIRA, J. B.; PAULA NETO; H. M.; NUNES, F. F. P. Produtividade do milho (*Zea mays L.*) irrigado em diferentes densidades populacionais e épocas de plantio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, n. 23, p. 139 – 145, jun - dez, 1992.

PERI, G.; HART, W.E.; NORUM, D.J. Optimal irrigation depths – a method of analysis. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 105, n. 4, p. 343 - 355, dec. 1979.

RAMOS, C.; GOMES, B.; OLIVIER, J.; LORENZO, E.; CASTEL, J.R. Águas residuales para riego: un ejemplo de aplicación en uva de mesa. In: E. CABRERA, E.; SAUQUILLO, A. (Org.). **El agua en la comunidad valenciana**, Generalitat Valenciana. 1989. p. 167-184.

RIBEIRO, A.F.L. **Avaliação do sistema de irrigação por aspersão através do modelo linear**. 1982. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1982.]

RING, L.; HEERMANN, J.F. **Determining center-pivot sprinkler uniformities**. Logan: USDA, 1978.

RODRIGUES, L.N.; MELLO, J.L.P.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M. Coeficientes de uniformidade: sensibilidade a mudanças nos fatores operacionais. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu. v. 2, n. 2, p. 90 - 99, 1997.

SADOVSKI, A. Y.; FATTAL, B. & GOLDBERG, D. Microbial contamination of vegetable irrigated with sewage effluent by drip method. **Journal of Food Protection**. Minneapolis, v. 41, n. 5, p. 336 - 340, 1978.

SANTANA, R.C. **Influência do redimensionamento hidráulico de precisão na uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação do tipo pivô central**. 2000. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2000.

SANTOS, I. J.; SOUZA, M. A. A. Reuso de água: uma análise da adequabilidade da utilização das águas residuárias tratadas no Distrito Federal. **In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 27., 2002, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABES, 2002. p. 1 - 9.

SARAIVA, F.Z. **Aplicação de águas residuárias de agroindústria de fécula de mandioca na cultura milho (Zea mays L.)**. 2004. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2004.

SEAB. Secretaria Estadual da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná, setembro de 2008. Curitiba: Secretaria Estadual da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná. Disponível em: <www.seab.pr.gov.br>. Acesso em: 06 set. 2008.

SHELEF, G. Wastewater reclamation and water resources management in Israel. **Water Science and Technology**, Washington, v. 24, n. 9, p. 251 - 265, 1991.

SHULL, H., DYLLA, A.S. Wind effects on water application. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 3, p. 501 - 504, 1976.

SOUZA, J. T.; LEITE, V. D.; LUNA, J. G. Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 107 - 110, 2001.

VAZQUEZ-MONTIEL, O.; HORAN, N. J.; MARA, D. D. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. **Water Science and Technology**, Washington, v. 33, n. 10 - 11, p. 355 - 362, 1996.

WALKER, W.R. Explicit sprinkler irrigation uniformity: efficient model. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 182, n. 105, p. 129 - 136, 1979.

WIERMA, J.L. **Effects of Wind variation on water distribution from rotating sprinkler**. Brookling: South Dakota Agricultural Experiment Station, 1955. 180 p.

WOODWARD, G.D. **Sprinkler irrigation**. New York: Sprinkler Irrigation Association, 1959. 377 p.